

Bauplan Nr. 28
Preis 1,–

Reinhard Oettel
Klaus Schlenzig

NF-Schaltungsmosaik

Originalbauplan Nr. 28

Inhaltsverzeichnis

1. Nutzung von Heim-Tonwiedergabe- und -aufnahmegeräten

Neben dem Empfang von Rundfunksendungen und ihrer unmittelbaren Wiedergabe dient der Heimrundfunkempfänger sehr oft noch als Verstärker für »Tonkonserven« von Plattenspieler und Magnettonbandgerät. In zunehmendem Maße sind allerdings neben Magnettonbandgeräten auch Plattenspieler mit eigenem Wiedergabeteil ausgerüstet und damit unabhängig vom Rundfunkgerät. Darüber hinaus werden Stereo-NF-Verstärker angeboten, die wiederum Signale von Platte, Band und Rundfunkeingangsteilen (sog. Tunern) verstärken und darum über entsprechende Eingänge verfügen. Um das »Durcheinander« abzurunden, existieren neben den modernen Transistorgeräten noch viele Röhrenempfänger, und auch Magnettonbandgeräte sind erst seit einigen Jahren transistorisiert. Hat das eine historische Gründe, bedeutet das andere (die Vielfalt an Geräten und Kombinationsmöglichkeiten), daß einerseits jeder Interessent die ihm zusagende Gesamtanlage erwerben kann, daß aber andererseits in vielen Fällen nicht alle Möglichkeiten dieser »Tonmöbel« genutzt werden. Oft fehlen dazu neben entsprechenden Informationen nur einige relativ einfache, allerdings wegen der möglichen Störbeeinflussung sachkundig aufzubauende Zusätze.

In einer »Heimakustikanlage« werden im allgemeinen die 4 in Bild 1 gezeigten Signalquellen interessieren: Rundfunkteil, Plattenspieler, Bandgerät und Mikrofon. Entsprechende NF-Verstärker verfügen darum auch über Eingänge, die den Eigenschaften dieser Quellen Rechnung tragen. Während jedoch die Signalamplituden von 3 von ihnen relativ geringe Probleme bringen, bereitet der niedrige Pegel von Mikrofonen oft Schwierigkeiten. (Beim Stereo-NF-Verstärker HSV 900 z. B. fehlt ein solcher Mikrofoneingang.)

Mikrofonverstärker sind daher eines der Objekte, die der »Heimakustiker« gern bauen wird.

Die Wiedergabe von Schallereignissen über Lautsprecher (gleichgültig, ob vom Rundfunkempfänger oder von einem NF-Verstärker betrieben) kann aber zumindest nur mit jeweils einer Quelle allein vorgenommen werden. Bei gleichzeitigem Anschluß mehrerer Quellen – noch dazu mit unterschiedlicheren Pegeln – erhält man kein zufriedenstellendes Ergebnis. Das Mischen z. B. von Musikdarbietungen mit Zwischentexten (»live« über Mikrofon oder auch vom Band) bzw. umgekehrt das Aufnehmen solcher »gemischter Informationen« auf Band erfordert weitere Maßnahmen, mindestens die Kombination eines Mischverstärkers mit getrennt einstellbaren, an die jeweiligen Quellen angepaßten Eingängen und einem in Pegel und Quellwiderstand für das »Endgerät« (Verstärker mit Lautsprecher oder Magnettonbandgerät) geeigneten Ausgang (bzw. mit 2 gleichartigen Ausgängen bei Stereo). Angesichts der unterschiedlichen Quellen (unterschiedlich in Ausgangswiderstand und Signalspannung) werden einem solchen Mischverstärker Impedanzwandler oder gegebenenfalls Vorverstärker vorgeschaltet. Zusammen mit einem vielleicht gewünschten Rumpelfilter für Schallplatten und eventuell noch einem Klangregelnetzwerk für jeden Verstärkerkanal entsteht auf diese Weise ein im Aufwand variabel gehaltenes Mischpult, das jeder Tonamateur seinen speziellen Wünschen und Geräten anpassen kann.

Für diese und andere Zwecke der NF-Technik bringt der vorliegende Bauplan eine Reihe von erprobten Lösungen. Es werden also keine umfangreichen NF-Leistungsverstärker u. ä. beschrieben, sondern kleinere, auch kombinierbare Schaltungsteile, mit denen sich der Einsatz vorhandener elektroakustischer Geräte wirkungsvoll erweitern läßt.

2. Einige allgemeine Informationen

Endziel aller elektroakustischen Verfahren und Geräte ist die (überwiegend über Lautsprecher erfolgende) Wiedergabe von Schallereignissen im Bereich des für den Menschen Hörbaren. Die Qualität der Wiedergabe ist dabei um so besser, je weniger Lautstärkeverhältnisse und Frequenzumfang der Ursprungsdarbietung auf dem Wege von Aufnahme bis Wiedergabe verfälscht werden. Das bedeutet für die beteiligten Geräte eine »über alles« gesehen frequenz- und amplitudengetreue Verarbeitung, bei der möglichst keine störenden neuen Frequenzen entstehen sollen. (Der Klirrfaktor z. B. ist ein Maß für die in einem Verstärker neu entstandenen Oberwellen einer von ihm verstärkten Schwingung.) Je nach Aufwand und damit Preis erfüllen handelsübliche Geräte diese Forderungen unterschiedlich gut. Der Heimakustiker muß beim Bau von Zusatzverstärkern von den gegebenen Tatsachen ausgehen und darauf achten, daß seine Eigenbauten möglichst keine merkbare Verschlechterung dieser Verhältnisse bringen.

Das menschliche Ohr als Aufnehmer dieser Signale hat nun gewisse Eigenheiten, die z. B. bewirken, daß man mit leiser werdender Wiedergabe die hohen und die tiefen Frequenzen gegenüber den mittleren als leiser empfindet, als sie (rein meßtechnisch gesehen) wiedergegeben werden. Hochwertige Verstärker verfügen daher über eine »gehörrichtige« Lautstärkeeinstellung, die diesem Effekt durch eine Frequenzgangkorrektur in umgekehrter Richtung begegnet. Selbstverständlich kann die Wiedergabe auch individuell über die Absenkung oder Anhebung bestimmter Frequenzbereiche mit getrennten Höhen- und Tiefen-»Reglern« beeinflußt werden, wenn dadurch wegen der begrenzten Pegeländerung meist auch keine vollständige gehörrichtige Korrektur zustande kommt. (Der Begriff »Regler« für von Hand eingestellte Potentiometer ist leider im Sprachgebrauch üblich, obgleich er den Definitionen der Steuer- und Regeltechnik in gewisser Weise widerspricht. Da gerade in der Elektroakustik der Begriff »Regeln« in diesem abgewandelten Sinne aber allgemein üblich ist, soll er auch im vorliegenden Bauplan gestattet sein.) Diese frequenzbeeinflussenden Glieder bedeuten ebenfalls einen gewissen Schaltungsaufwand, wenn man sie nachträglich in den Rahmen einer Heimakustikanlage einfügen will.

In diesem Bauplan sollen weder beschallungstechnische noch für die Einrichtung von umfangreichen Heimstudios interessierende Informationen gegeben werden. Das sind Dinge, die den Einsatz

der vorhandenen Geräte betreffen, während im folgenden vorwiegend die Verknüpfungsmöglichkeiten genannt werden, bei denen die beschriebenen Zusatzgeräte helfen sollen.

Beim Zusammenschalten von Signalquellen, Verstärkern und Wiedergabeeinrichtungen bzw. Aufnahmegeräten treten immer wieder 2 wesentliche Begriffe auf: Impedanzen und Pegel.

Impedanz ist der Wechselstrom-Scheinwiderstand, der im allgemeinen auf eine bestimmte Frequenz bezogen wird und sowohl Quelle (»Innenwiderstand«) als auch Verstärker (»Eingangs«- und »Ausgangswiderstand«) und Verbraucher (s. Lautsprecher) kennzeichnet.

Im folgenden soll der Einfachheit halber nur noch mit dem Begriff »Widerstand« gearbeitet werden, wenn man auch stets daran denken sollte, daß dieser Wert durchaus nicht für jede Frequenz gültig sein muß (z. B. auch nicht für Gleichstrom!).

Die Zweipoltheorie lehrt, daß eine Quelle mit der Leerlaufspannung U_l und dem Innenwiderstand R_i an einen unendlich großen Außenwiderstand R_a die Spannung U_l abgibt, wobei $I = 0$, also die abgegebene Leistung $U_a \cdot I_a = U_l \cdot 0$ gleich 0 ist. Bei $R_a = 0$ ist $I = I_k = \frac{U_l}{R_i}$, und die abgegebene Leistung ist ebenfalls gleich 0. Dazwischen liegt (was man mit einer Maximumbetrachtung leicht nachrechnen kann) für $R_a = R_i$ das Maximum der abgegebenen Leistung mit $U_a = U_l/2$, $I_a = I_k/2$ und $P = \frac{U_l^2}{4R_i} = \frac{U_l^2}{4R_a}$. Dieser Fall heißt daher (Leistungs-) Anpassung. Hat nun eine Quelle einen frequenzabhängigen Innenwiderstand, so entstehen je nach Frequenz an einem bestimmten Abschlußwiderstand unterschiedliche Spannungen. In diesem Fall ist es also günstiger, in der Nähe des Leerlaufs zu arbeiten, wo der Einfluß des Abschlußwiderstands auf die Größe der abgegebenen Spannung für verschiedene Frequenzen klein wird. Ein ähnlicher Fall, wenn auch aus anderen Gründen, liegt bei der wahlweisen Speisung mehrerer parallelgeschalteter Verbraucher aus einer Quelle vor. Ist diese Quelle gegenüber den Lastwiderständen sehr niederohmig, so kann in einem großen Bereich mit $U_a \approx U_l$ gerechnet werden, und P_a wird $\approx \frac{U_l^2}{R_a}$, so daß z. B. die Wiedergabelautstärke sich kaum ändert, gleichgültig, ob man nur einen Lautsprecher angeschlossen hat oder mehrere parallel betreibt (solange $R_i \ll R_a$ und solange der minimal zulässige Lastwiderstand nicht unterschritten wird). Sehr hochohmige Quellwiderstände liegen z. B. bei Kristallmikrofon und -tonabnehmer vor (Größenordnung einige hundert Kiloohm bei 1 kHz).

Im Zusammenhang mit dem noch zu erläuternden Pegelbegriff interessieren die Quellspannungen elektroakustischer Signalquellen. Aus dem »abc der Niederfrequenztechnik« von K. K. Streng stammen dazu die in Tabelle 1 zusammengefaßten Angaben zu den Innenwiderständen und Frequenzbereichen.

Klammert man das für hochwertige Übertragungen ungeeignete Kohlemikrofon aus, so benötigen also alle genannten Mikrofone z. B. bei Anschluß an den HSV 900 oder einen ähnlichen NF-Verstärker mit 100 bis 500 mV Eingangsspannungsbedarf einen Vorverstärker. (Magnetische Tonabnehmer haben meist in Verbindung mit der Schneidkennlinienentzerrung einen solchen Verstärker bereits eingebaut.)

Die Anhebung von z. B. 1 bis 2 mV aus einem Kristallmikrofon auf 500 mV für einen Leistungsverstärkereingang bedeutet also eine Spannungsverstärkung von 250 bis 500. Außerdem muß der Verstärker einen hohen Eingangswiderstand haben, damit überhaupt mit dem Wert von 1 bis 2 mV gerechnet werden kann. Schließlich muß sein Ausgang dem Eingang des Leistungsverstärkers angepaßt sein, der vielleicht nur wenige Kiloohm beträgt.

Aus der Fernmeldetechnik stammt der Begriff Pegel. Je nachdem, ob man den Spannungswert am Ein- oder Ausgang eines Verstärkers oder am Ein- oder Ausgang einer Leitung auf einen bestimmten Spannungs-Grundwert bezieht oder nur 2 Spannungswerte miteinander vergleicht, spricht man dabei vom absoluten oder vom relativen Pegel. Der absolute Pegel geht von einem Wert von 0,775 V aus (was sich aus der Leistung von 1 mW eines »Normalgenerators« an 600 Ω ergibt) und bezieht andere Werte auf diese Spannung. Das geschieht mit einem logarithmischen Maßstab, weil Spannungen auf Leitungen exponentiell gedämpft werden. Für die Verstärkertechnik hat diese Angabe ebenfalls Vorteile, wie sich gleich zeigen wird. Während in der Fernmeldetechnik das Neper (abgeleitet aus dem natürlichen Logarithmus eines Spannungs- oder Leistungsverhältnisses) gebräuchlich ist, arbeitet man in der Verstärkertechnik mit dem vom Begriff »Bel« abgeleiteten

Dezibel (dB). Dabei gilt für das Verhältnis zweier Spannungen z. B. am Aus- und Eingang eines Verstärkers: $V = 20 \lg U_2/U_1$. Zur Einsparung von Rechenarbeit gibt es feingestufte Tabellen, die (in diesem Fall »relatives«) Pegelmaß und zugehöriges Spannungsverhältnis enthalten. Es zeigt sich, daß dabei recht einprägsame Werte auftreten (Tabelle 2). Man erkennt, daß z. B. 2 Verstärkerstufen mit je 10facher Spannungsverstärkung (also je 20 dB Verstärkung) gemäß $V_1 \cdot V_2 = 100$ in dB gerechnet $(20 + 20)\text{dB} = 40\,\text{dB}$ aufweisen. Verstärkungsangaben in dB kann man also einfach addieren! Ebenso einfach ist es z. B., bei Kenntnis des Dämpfungsfaktors (also der Abschwächung eines Spannungspegels bei einem »passiven« Klangbeeinflussungsnetzwerk aus R und C) eine Verstärkerstufe vorzugeben, die den Pegel um den gleichen Wert wieder anhebt. Auch Frequenzgänge werden mit diesem logarithmischen Maß bewertet. Der »3-dB-Abfall« an den Grenzen des Bereichs sagt z. B. aus, daß gegenüber dem mittleren Kurventeil ein Spannungsrückgang auf den 0,7ten Teil zu verzeichnen ist, wenn z. B. der Verstärkerstufe die gleiche Eingangsspannung angeboten wird.

Ein Verstärker muß stets so ausgelegt sein, daß er die maximal auftretende Eingangsspannung noch ohne Begrenzung verarbeiten kann. Zur Bewertung von Verstärkerstufen wird daher meist auch noch angegeben, um wievielfach sie übersteuerbar sind. Setzt man vereinfachend für einen RC-Verstärker die gesamte I_c-U_c-Kennlinie (außerdem ohne Berücksichtigung einer nicht aussteuerbaren Randzone) als geradlinig an, so kann sie bei A-Betrieb (also Arbeitspunkt bei U/2) maximal um $\pm U/2$ ausgesteuert werden. Ein Sinus hat damit die Amplitude U/2, also den Effektivwert $U/2\sqrt{2}$. Für z. B. 6 V Betriebsspannung ist deshalb höchstens $U_{eff} = {}^6/_2 \sqrt{2} \approx 2{,}1\,\text{V}$ zu erreichen. Transistorkennlinien sind jedoch nie geradlinig. Nur bei »Kleinsignalaussteuerung« lassen sich daher aufwendige, linearisierende Gegenkopplungen umgehen. Kleinsignalverstärkung ist aber bei Vorverstärkerstufen auch meist gegeben.

Verstärker sollen in dem Frequenzbereich, für den sie gedacht sind, möglichst gleichmäßig verstärken. Moderne Siliziumtransistoren bereiten in dieser Hinsicht keine Schwierigkeiten. Ihre Grenzfrequenz liegt genügend hoch. (Im Gegenteil besteht dadurch bei hoher Gesamtverstärkung oft sogar die Gefahr hochfrequenter Selbsterregung!) Die Außenbeschaltung der Stufe einschließlich der Koppelelemente spielt daher die größte Rolle für den sich ergebenden Frequenzgang. Als Grundregeln gelten: Je größer der Quellwiderstand R_i einer Verstärkerstufe, um so mehr gehen Schaltkapazitäten ein. Sie senken die Amplitude bei hohen Frequenzen ab, sobald $\frac{1}{2\pi f C_p}$ in die Größenordnung von R_i kommt (NF-Schirmleitungen haben z. B. Kapazitäten von 50 pF/m und mehr!). Tiefe Frequenzen werden um so stärker benachteiligt, je kleiner der Eingangs-Koppelkondensator gegenüber dem Eingangswiderstand R_e ist. Das heißt, es muß $\frac{1}{2\pi C_k} \ll (R_e + R_{i\,Quelle})$ sein.

Für $\frac{1}{2\pi C_k} = R_e + R_{i\,Quelle}$ tritt eine Spannungsteilung ein, die wegen der Phasenverhältnisse noch den 0,7ten Teil der Spannung gegenüber Frequenzen mit $\frac{1}{2\pi C_k} \ll R_e + R_{i\,Quelle}$ an den Eingang des Transistors gelangen läßt. Dort liegt die untere Grenzfrequenz der Verstärkerstufe (−3 dB!). Ähnliche Betrachtungen gelten für den Parallelkondensator zum Emitterwiderstand einer temperaturkompensierten Emitterstufe: Im interessierenden Frequenzbereich muß der Blindwiderstand $\frac{1}{2\pi C}$ entsprechend klein sein, bezogen auf die Parallelschaltung von Emitterwiderstand und Eingangswiderstand des Transistors, gemessen in Basisschaltung (etwa 50 Ω!). Umgekehrt nutzt man die frequenzabhängigen Übertragungseigenschaften von RC-Kombinationen zur bewußten Frequenzgangbeeinflussung.

3. Kombinierbare Bausteine für die NF-Technik

Im folgenden wird eine Reihe von Schaltungen mit ihren zugehörigen Leiterplatten vorgestellt, die für die in Abschnitt 1. kurz skizzierten Zwecke verwendet werden können.

3.1. Impedanzwandler

Neben der im folgenden beschriebenen Schaltung gibt es noch andere Möglichkeiten, hohe Eingangswiderstände zu erreichen: die Emitterstufe mit hohem Vorwiderstand und die Komplementärschaltung.

Bei der Schaltung nach Bild 2 (Leitungsmuster Bild 3, Bestückungsplan Bild 4) handelt es sich um eine modifizierte Kollektorstufe ($V_u \approx 1$), die sogenannte Bootstrap-Schaltung. Bei ihr wird durch einen zusätzlichen Kondensator (C2) der Einfluß des sonst parallelliegenden Basisspannungsteilers auf den Eingangswiderstand wesentlich verringert, so daß ohne weiteres Eingangswiderstände in der Größenordnung von 1 MΩ erreicht werden können. (Für die übliche Kollektorstufe gilt mit den Bezeichnungen nach Bild 2 $R_e \approx \beta \cdot R5$; diesem Widerstand liegt jedoch sonst noch der Spannungsteilerwiderstand wechselspannungsmäßig parallel; $R_e//R1//R2$.) Soll der Eingangspegel einstellbar gemacht werden, bestimmt damit das Eingangspotentiometer den Richtung Quelle wirksamen Widerstandswert wesentlich mit. Die Impedanzwandlung auf kleine Ausgangswiderstände bedeutet u.a. auch unkomplizierte Weiterverarbeitung des Signals, da kleine Widerstände der nachfolgenden Stufen auch geringe Störspannungseinstreuungen und kleines »Übersprechen« bei Stereo bzw. bei mehreren Kanälen ergeben. Die Impedanzwandlerstufe eignet sich also u.a. zum Anschluß von Kristalltonabnehmern und Kristallmikrofonen, aber auch von Demodulatoren mit höherem Ausgangswiderstand.

Auf der Leiterplatte nach Bild 3 und Bild 4 wurden 4 solcher Stufen nebeneinander angeordnet; das Siebglied für die Betriebsspannung ist allen gemeinsam. Werden weniger Stufen benötigt, so zersägt man die Platte oder stellt von vornherein nur eine Teilplatte her. Statt der auf der Platte angebrachten Stellpotentiometer zur einmaligen festen »Einpegelung« für reproduzierbare Verhältnisse können auch über Lötösen Potentiometer mit Achsen oder – falls schon erhältlich – Flachbahnregler angeschlossen werden, so daß man den Pegel stets optimal und für jede Stufe einzeln einstellen kann. Bezüglich der Bestückung ist zu beachten, daß Eingangsstufen möglichst rauscharme Transistoren (aber auch mit möglichst gleichen Rauschwerten!) brauchen und daß die Transistoren der einzelnen Stufen auch möglichst gleiche Verstärkungswerte haben sollen. Je größer der Eingangswiderstand, um so größer ist allerdings auch der Rauschpegel. Man sollte daher keine unnötig hohen Eingangswiderstände anstreben.

3.2. NF-Mischstufen

Das möglichst rückwirkungsfreie Mischen von NF-Signalen aus verschiedenen Quellen kann zum Zwecke der Bandaufnahme oder der unmittelbaren Wiedergabe erfolgen. Bild 5 (Leitungsmuster Bild 6, Bestückungsplan Bild 7) zeigt eine einfache NF-Mischschaltung, die mit einem Minimum an Bauelementen auskommt. Anspruchsvollere Lösungen erfordern wesentlich größeren Aufwand und mehr Volumen. Voraussetzung für die einwandfreie Funktion einer solchen einfachen Mischstufe ist der Einsatz von Transistoren mit möglichst geringeren Datenunterschieden, besonders bezüglich Stromverstärkung. Die beiden Transistoren einer Mischstufe haben einen gemeinsamen Kollektorwiderstand R3, an dem mit R1 und R2 (Spannungs-Parallelgegenkopplung) auf etwa halbe Betriebsspannung eingestellt wird. Auf Grund der Forderung nach gleichen Daten gilt R1 = R2. Wer ganz sicher gehen will, der mißt mit einem Amperemeter ($R_i \ll R3$) in jedem Kollektorzweig den Strom. Es muß gelten $I_1 \approx I_2$. Weichen die Werte zu stark ab (z.B. um mehr als 20%), so kann – falls eine andere Transistorkombination nicht möglich ist – durch Verändern von R1 oder R2 in gewissen Grenzen korrigiert werden (bei $I_1 < I_2$ z.B. R1 verringern). Für Amateurzwecke wird man meist mit 4 Eingängen auskommen (2× Stereo oder 4× Mono). Daher trägt die Leiterplatte nach Bild 6 2 Mischstufen, die durch Verbindungen der Kollektoren ohne Bauelementeänderung zusammengeschaltet werden können. An diesem Punkt wird auch das Summensignal abgenommen. Außerdem wurde ein Siebkondensator für die Versorgungsspannung vorgesehen. Zusammen mit der Impedanzwandlerplatte nach 3.1., deren Ausgänge man über 4 Potentiometer mit der Mischstufenplatte verbindet, entsteht bereits ein kleines Mischpult. Werden keine so hohen Eingangswiderstände gebraucht und lassen es die Eingangspegel zu, so kann man die Mischplatte auch allein verwenden. Zumindest müßte dann aber ein Pegelausgleich bei den Quellen erfolgen.

3.3. Mehrzweck-Doppelstufen

Mehrzweck-Leiterplatten erfreuen sich nach wie vor großer Beliebtheit. Arbeitsgemeinschaften können davon z.B. im fotomechanischen Verfahren oder im Siebdruck schnell kleine Serien herstellen. Die Platte nach Bild 9 (Bestückungspläne für 6 Varianten Bild 10; s. auch Tabelle 3) kann z.B. in den 6 Schaltungsarten nach Bild 8 bestückt werden, je nach Aufgabenstellung. Auf einer Platte finden 2 Verstärkerstufen Platz, die man in Serie schaltet, die sich aber auch getrennt verwenden lassen. In Bild 10 wurde jeweils auf einer Hälfte der für 2 Stufen vorgesehenen Leiterplatte die Bauelementebestückung zu jeder Variante eingetragen. Die Bezeichnung der Bauelemente wurde so gewählt, daß unterschiedliche Bezifferung (z.B. der Widerstände R mit 1 bis 5) auch eine unterschiedliche Lage auf der Platte und unterschiedliche Aufgaben in der Schaltung anzeigt. Mit den abgebildeten Verstärkerstufen sind die Möglichkeiten noch nicht erschöpft; sie stellen nur Beispiele dar.

Für die Kondensatoren werden meist Elektrolytkondensatoren verwendet. Sie wurden dennoch ungepolt eingezeichnet, weil die Polung von den vorgeschalteten und den folgenden Stufen abhängt. Schaltung 1 wird der Amateur in den seltensten Fällen anwenden. Es handelt sich um eine einfache Emitterschaltung, die auf jegliche Gegenkopplungs- und Stabilisierungsmaßnahmen verzichtet. Ihr haften dementsprechend auch alle unangenehmen Eigenschaften, wie Temperaturabhängigkeit u.ä., an. Schaltung 2 kommt vorzugsweise in Vorstufen zur Kleinsignalverstärkung in Frage. Im Gegensatz zur 1. Schaltung bewirkt in dieser Emitterstufe R3 Parallelgegenkopplung, aber auch Verringerung des Eingangswiderstands.

Die 3. Schaltung, ebenfalls eine Emitterstufe, wird durch ihren Basisspannungsteiler (R 1 und R 2) stabilisiert. Dieser Spannungsteiler soll so bemessen werden, daß der Strom durch R1 und R2 das 3- bis 5fache des Basisstroms des Transistors beträgt. Mit R5 wird eine Seriengegenkopplung erreicht. Der Kondensator C3 macht die Gegenkopplung für Wechselspannung unwirksam. Er muß deshalb groß gewählt werden, damit er für die unteren Frequenzen noch einen geringen Widerstand darstellt.

Schaltung 4 zeigt eine mögliche Variante, die ausreichend stabil und gegengekoppelt ist. Bei ihr wirkt R5 gegenkoppelnd für Gleich- und Wechselstrom. Außerdem kann an A_E ein Signal entnommen werden. Der Ausgangswiderstand ist dabei, abhängig von der Dimensionierung, relativ gering.

Schaltung 5 arbeitet als Kollektorstufe, auch Emitterfolger genannt. Der Eingangswiderstand dieser Stufe ist groß, der Ausgangswiderstand gering. Die Spannungsverstärkung einer Kollektorstufe liegt immer (dicht) unter 1. Der NF-Amateur setzt diese Stufe besonders als Impedanzwandler ein, z.B., um den gewünschten hohen Eingangswiderstand zum Anschluß eines Kristallmikrofons zu erreichen.

Schaltung 6 arbeitet als Basisstufe. Sie hat einen sehr geringen Eingangswiderstand und einen größeren Ausgangswiderstand bei hoher Spannungsverstärkung. Diese beim Amateur selten angewendete Schaltung kann vorteilhaft sein, wenn z.B. dynamische Mikrofone mit einer Impedanz von 200 Ω angepaßt werden sollen und wenn auf den für diese Mikrofone sonst üblichen Transformator wegen seiner Brummempfindlichkeit verzichtet werden soll.

Schaltung 7 und der zugehörige Bestückungsplan zeigen keine weitere Variante, sondern nur mögliche Anschlüsse von Koppelkondensatoren C_k zwischen den beiden Stufen einer Mehrzweck-Doppelplatte. Außerdem ist der Einbau eines Siebglieds R_S und C_S für die 1. Stufe der Leiterplatte angedeutet. In diesem Fall muß der Leiterzug an der bezeichneten Stelle aufgetrennt werden. Beim Einbau von R_S muß man als Kompromiß in Kauf nehmen, daß die Lötaugen doppelt besetzt sind.

Die bereits genannte Tabelle 3 enthält Richtwerte für die Dimensionierung der beschriebenen Stufen. Dem weniger erfahrenen NF-Amateur sei bei der Dimensionierung der Schaltungen die in den meisten Fällen mögliche Methode der halben Speisespannung angeraten. Das heißt, es soll so

dimensioniert werden, daß zwischen Kollektor- und Emitteranschluß des Transistors im nichtangesteuerten Zustand die halbe Speisespannung der Stufe zu messen ist.

Mögliche Einsatzfälle entsprechend bestückter Doppelstufenplatten:

1 – Gleichartig in Emitterschaltung bestücken und dann der Mischerplatte unter Zwischenschalten eines Potentiometers als »Summenregler« nachsetzen.
2 – Stufe 1 als Kollektorstufe, Stufe 2 als Emitterstufe bestücken (Schaltung 2; C2 oder C1 entfällt, direkt auf der Platte verbinden); ergibt Verstärker mit hochohmigem Eingang und Spannungsverstärkung, z. B. für Kristallmikrofon als Vorverstärker.
3 – Verstärker nach Schaltung 2 auf der Platte miteinander verbunden ergibt Vorverstärker für dynamisches Mikrofon.
4 – Zwischen beide Stufen kann ein Potentiometer eingefügt werden, so daß sich die Gesamtverstärkung einstellen läßt.
5 – Bei Ge-Transistor statt Schaltung 2 Schaltung 3 verwenden (höhere thermische Stabilität, besonders bei Ge wichtig); dabei Betriebsspannung umpolen.
6 – C3 in Schaltung 3 herausführen und als frequenzabhängige Gegenkopplung zusammen mit niederohmigem Potentiometer benutzen.

3.4. Klangregelschaltungen

Wie bereits eingangs kurz erwähnt, bedingen die Eigenschaften des menschlichen Ohrs in Abhängigkeit vom Schallpegel unterschiedliche Lautstärken bei verschiedenen Frequenzen, wenn sie vom Ohr als »gleich laut« empfunden werden sollen. Bei entsprechendem Gesamtaufwand (und damit Preis) enthalten daher hochwertige Verstärker sogenannte gehörrichtige Lautstärkeregler. Das sind Potentiometer mit Anzapfungen, an die (gegen Masse) RC-Glieder angeschlossen werden. Diese Glieder bewirken, daß bei kleinen Lautstärken eine Bevorzugung der tieferen Frequenzen gegenüber den mittleren erfolgt, so daß das Klangbild ausgeglichen bleibt.

Eine weitere Beeinflussung des Frequenzgangs ist – unabhängig von der eingestellten Lautstärke – durch Klangregelschaltungen möglich, die in ihrer einfachsten Form jedoch nur ein Absenken der Höhen gestatten (Serienschaltung von C und einstellbarem R parallel zum Signalweg). Bild 11 zeigt die wohl bekannteste Schaltung zur getrennten Höhen- und Tiefenregelung, dimensioniert für 2 Potentiometerwerte (Klammerwerte gehören zusammen). Vertauscht man Ein- und Ausgang, so verringert sich der Einfluß des Abschlußwiderstands. Bei Mittelstellung der Regler ergibt sich eine lineare Übertragungskurve (Amplitude über Frequenz aufgetragen); in den Anschlagstellungen lassen sich Höhen und Tiefen gegenüber dem Frequenzbereich um 1 kHz in der Größenordnung von je 20 dB anheben oder absenken. Um das zu erreichen, sollen solche Netzwerke ausgangsseitig möglichst wenig belastet werden, erfordern also einen hohen Eingangswiderstand der nächsten Stufe (z. B. Kollektorstufe verwenden). Infolge der Grunddämpfung von ebenfalls etwa 20 dB ergibt sich praktisch die Notwendigkeit, 2 zusätzliche Verstärkerstufen vorzusehen, z. B. gemäß Bild 12. Die beiden Verstärker lassen sich auf der Leiterplatte einer Mehrzweck-Doppelstufe nach Abschnitt 3.3. unterbringen. Die Elemente des Klangregelnetzwerks werden im Fall von Bild 12 (in dem eine Umschaltung auf linearen Frequenzgang mit dem nötigen »Abschwächer« vorgesehen ist) auf dem Tastenschalter montiert. Die beiden Potentiometer befinden sich ja ohnehin an der Bedienplatte des Gehäuses. Bild 12 zeigt auch, wo gegebenenfalls ein Rausch- und (oder) Rumpelfilter eingeschleift werden kann (s. Abschn. 3.5.).

Hinweis: Die Belastung des Klangreglers sinkt, wenn das Potentiometer für die Lautstärke erst hinter dem 2. Transistor angebracht wird.

Eine Schaltung, die mit wesentlich kleineren C-Werten auskommt und in den Gegenkopplungszweig einer Verstärkerstufe eingefügt wird, stammt aus der »Schaltungssammlung für den Amateur« (Bild 13). Sie erfordert einen niedrigen Ausgangswiderstand der vor dem Regler liegenden Verstärkerstufe. Dieser »aktive Regler« hat eine Dämpfung von 0 dB, schwächt also das Signal überhaupt nicht. Die Amplituden von Höhen und Tiefen können mit ihm um ± 15 dB gegenüber 1 kHz verändert werden. In Mittelstellung erfolgt lineare Übertragung.

Stereoanlagen erfordern für jeden Kanal den gleichen Aufwand, wobei man miteinander »korrespondierende« Regler als Tandemregler (2 gleiche Potentiometerebenen mit gemeinsamer Achse und zwischengelegter Schirmwand gegen Übersprechen) ausführen sollte.

3.5. Rumpel- und Rauschfilter

Besonders bei älteren Plattenspielern stören tieffrequente Geräusche im Bereich zwischen etwa 10 und 50 Hz, die sich vom Antriebssystem auf den Tonabnehmer übertragen. In diesem Fall begrenzt man am besten den Übertragungsbereich des Wiedergabeverstärkers nach unten hin. Das ist mit zusätzlichem Filteraufwand verbunden. Ein einfaches RC-Filter hält diesen Aufwand in vernünftigen Grenzen und reicht dennoch vielfach schon aus, um diese Geräusche ohne größere Auswirkungen auf die tieferen »Nutzfrequenzen« wirksam zu unterdrücken. Bild 14 zeigt im linken Teil eine solche Möglichkeit. Das Filter kann über S 1 abgeschaltet werden. Es wirkt bis etwa 150 Hz; allerdings ist der Dämpfungsabfall einer solchen RC-Schaltung nach höheren Frequenzen zu relativ flach.

Die umgekehrte Aufgabe, nämlich Dämpfung höherer Frequenzen, erfüllt ein Rauschfilter. Selbstverständlich werden dabei auch alle Nutzfrequenzen des Dämpfungsbereichs entsprechend benachteiligt. Dennoch gibt es Fälle, bei denen ein solches Filter nützlich sein kann, z. B. bei älteren Schallplatten. (Man denke an 78er Schellackplatten, die oft musikhistorisch wertvolle Aufnahmen tragen, oder an die Wiedergabe von Magnettonbandaufnahmen, die mit geringem Aufnahmepegel, vielleicht außerdem noch auf Geräten mit Gleichstromlöschung, zustande gekommen sind!) Ein weiterer Einsatzfall für ein Rauschfilter besteht in der Möglichkeit, akustische Rückkopplungen bei der Wiedergabe von Mikrofonaufnahmen im gleichen Raum zu verhindern. Rauschfilter wirken meist etwa ab 5 bis 8 kHz. Ein Beispiel ist auf der rechten Seite von Bild 14 dargestellt.

Die grundsätzliche Wirkungsweise von RC-Filtern wurde bereits eingangs mit erläutert: der frequenzabhängige Widerstand $1/j2\pi fC$ eines Kondensators bildet mit einem ohmschen Widerstand einen frequenzabhängigen Spannungsteiler. Das j drückt aus, daß dieser Widerstand in Richtung der imaginären Achse in komplexer Darstellung aufzutragen ist, während der ohmsche Widerstand längs der reellen Achse zählt. Die Serienschaltung läuft auf eine Dreiecksbildung hinaus, die mit dem Pythagoras berechnet werden kann. Die Frequenz, bei der die Beträge beider Widerstände gleich sind, d.h. $\frac{1}{2\pi fC} = R$, nennt man Grenzfrequenz des frequenzabhängigen Spannungsteilers. Da die über beiden Schaltelementen stehenden Spannungen dann zwar betragsmäßig gleich sind, aber 90° zueinander stehen, ist ihre Resultierende $\sqrt{2}$mal so groß wie jede Einzelspannung. Eine der Einzelspannungen bildet aber die Ausgangsspannung des RC-Glieds, wenn die Gesamtspannung über der Serienschaltung liegt. Sie ist also gleich $U_{ges}/\sqrt{2}$. Wird sie über C abgenommen, so sinkt $U_{ausg.}$ mit steigendem f (Tiefpaß). Liegt dagegen R aus der Ausgangsseite, dann steigt $U_{ausg.}$ mit wachsendem f (Hochpaß).

Bringt man die Bauelemente von Rumpel- und Rauschfilter zusammen mit denen des Klangreglers auf einem dreiteiligen Tastenschalter mit unabhängig voneinander schaltenden Tasten unter, so entsteht eine Einheit, wie sie bereits in Bild 12 angedeutet wurde. Bild 15 enthält einen Verdrahtungsvorschlag für beide Einheiten.

3.6. Pegelindikatoren

Die einer elektroakustischen Anlage zugeführten Pegel können in großen Grenzen schwanken. Schon eingangs wurden die unterschiedlichen Durchschnittswerte verschiedener Quellen genannt. Außerdem enthalten die meisten Klangereignisse beträchtliche Pegelunterschiede. Beim Zusammenschalten einzelner Verstärkerstufen erreicht man schließlich oft Gesamtverstärkungswerte, die bezüglich eines bestimmten Schallereignisses wieder so »eingepegelt« werden müssen, daß keine Übersteuerung erfolgt. Das trifft auf den Umgang mit einem Mischpult genauso zu wie auf den Einsatz von Magnettonbandgeräten. Im allgemeinen enthalten Magnettonbandgeräte daher bereits einen Aus-

steuerungsanzeiger. Bei Kassettenrecordern mit fest eingebauter Aussteuerungsautomatik fehlt eine solche Anzeige meist. Aussteuerungsautomatik ist jedoch gleichbedeutend mit Dynamikkompression. Das heißt: Leise dargebotene Stellen eines Musikstücks werden mehr verstärkt als laute. Man stelle sich z. B. den »Bolero« von M. Ravel vor, wenn er von einem solchen Gerät aufgenommen wurde: vom Anfang bis zum Ende ein einziger Durchschnittspegel! Greift man jedoch in einen derartigen Recorder ein und schaltet diese Automatik wahlweise ab, so braucht man wiederum einen Pegelindikator, der aber zunächst in Verbindung mit dem jeweiligen Gerät, einem Tongenerator und einem Oszillografen zeitsparend »eingeeicht« werden sollte.

Ein Pegelindikator muß mindestens die Grenze signalisieren, bis zu der man eine Anlage aussteuern darf, ohne daß sie übersteuert wird. Bei höheren Ansprüchen ist ein Pegelmesser größeren Aufwands anzufertigen, der mit einer logarithmischen Bewertung eine Pegelkontrolle über etwa 3 Dekaden (60 dB) gestattet, also auch den Pegel leiser Stellen signalisiert. Da auch kurze Spannungsspitzen zur Übersteuerung führen, muß die Anzeige diese nach Möglichkeit erfassen. Das bedeutet u. a. eine geringe mechanische Dämpfung des Instruments bzw. eine relativ große Entladezeit der Anzeigeschaltung. Schließlich strebe man einen möglichst großen Eingangswiderstand an, um die Belastung des Verstärkers klein zu halten. Daß durch den Anschluß des Pegelindikators auch keine Frequenzgangänderung auftreten darf (z. B. durch eine größere Kapazität), ist selbstverständlich.

Im folgenden werden einige teils industriell verwendete, teils aus Amateurpublikationen stammende Pegelindikatorschaltungen vorgestellt. Für die Skalengestaltung genügen farbige Felder, wobei rot den »verbotenen Bereich« kennzeichnet.

Im 4-Spur-Gerät »B 4« von Tesla kommt die einfache Schaltung nach Bild 16 zum Einsatz. Das Meßwerk ist mit etwa 35 μA Vollausschlag sehr empfindlich ($R_i \approx 2\,k\Omega$). Im ersten DDR-Kassettenrecorder, dem »KT 100«, dient ein als Diode geschalteter Transistor zusammen mit dem relativ unempfindlichen Indikatorinstrument »PKM 20« als Pegelindikator (Bild 17). Die Belastung der Schaltung durch diesen Indikator ist infolge des größeren Energiebedarfs höher als bei der Schaltung nach Bild 16. Beide Anzeigeneinheiten liegen an der letzten Stufe des jeweiligen Ausgangsverstärkers, die entsprechend belastbar ist. Es hat also keinen Sinn, einen Nachbau z. B. von der Schaltung entsprechend Bild 17 (für den sich bisweilen noch das Instrument beschaffen läßt) weiter vorn im Verstärker einzuschalten!

Bild 18 zeigt in Pegelindikatoren verwendete Instrumente.

Ein Anzeigeverstärker gestattet dagegen das Anschalten auch an andere Schaltungsteile, und außerdem können weniger empfindliche, also auch billigere Instrumente (Größenordnung 1 mA Vollausschlag) zum Einsatz kommen.

Im Pegelindikator nach Bild 19 wird das Signal an der Basis-Emitter-Strecke gleichgerichtet und öffnet den Transistor entsprechend dem Eingangsstrom. Dieser multipliziert sich mit der Stromverstärkung des Transistors und gelangt im Instrument zur Anzeige. Der parallel dazu liegende Kondensator »verlängert« die Zeit für den Zeigerrücklauf. (Eine schmale Signalspitze lädt den Kondensator mit einem vom Transistor abhängigen, relativ kleinen »Ladewiderstand«, während der durch das Instrument und seinen Vorwiderstand gebildete Entladewiderstand eine größere Entladezeit bedingt.)

Der Indikator nach Bild 19 kann nur an Stellen eingesetzt werden, an denen der maximal zulässige Pegel genügend weit über der Schleusenspannung der Basis-Emitter-Strecke des Transistors liegt, darunter erfolgt ja keine Anzeige! (Richtwerte für kleine Ströme: Germanium 0,1 bis 0,2 V, Silizium 0,5 bis 0,6 V.) Das trifft selbstverständlich auf die anderen Gleichstromschaltungen zu!

Strombedarf des Meßinstruments und Stromverstärkung des Transistors bestimmen den erreichbaren Eingangswiderstand, d. h. die Einstellung des 25-kΩ-Potentiometers. R_v ist so zu wählen, daß das Instrument bei nahezu voll geöffnetem (leitendem) Transistor Vollausschlag anzeigt, ihn aber nicht wesentlich überschreiten kann (sonst besteht Gefahr für das Meßwerk). In Abhängigkeit von der Betriebsspannung läßt sich das leicht berechnen: Nimmt man – vereinfachend – $U_{CE} = 0$ an, so muß $U_{Batt}/(R_v + R_{Instr}) \approx I_{voll}$ sein.

An R1 stellt man die Empfindlichkeit ein: Beim Übersteuerungseinsatz muß der rot zu markierende Instrumentenbereich (z. B. etwa 50 bis 70% des Vollausschlags) erreicht werden. Die Gestaltung der Baugruppe »Pegelindikator« richtet sich weitgehend nach dem Instrument, so daß auf die Vorgabe einer bestimmten Leiterplattengeometrie verzichtet wird.

Bild 20 zeigt eine Schaltung für höhere Ansprüche. Der Vorverstärker arbeitet als A-Stufe und ist vom Anzeigekreis galvanisch getrennt. Der Meßkreis enthält eine Spannungsverdopplerschaltung mit 2 Dioden und 2 Kondensatoren, von denen der parallel zum Instrument liegende gleichzeitig die erforderliche Rücklaufverzögerung bei kurzen Spitzen bewirkt. Der Wert dieses Kondensators ist auf das Instrument abzustimmen, was durch Versuch geschieht. Der Eingangswiderstand der Schaltung liegt jedoch noch immer nicht so hoch, daß man sie z.B. an einen Vorverstärker anschließen könnte. Das erlaubt erst die um eine 2. Stufe ergänzte Lösung nach Bild 21, die auf einen Vorschlag von G.O.W. Fischer in der »Funktechnik«, Heft 1/73, zurückgeht. Eine Besonderheit besteht im einstellbaren Widerstand zwischen dem Ausgang der Kollektorstufe (T1) und dem Eingang der Emitterstufe (T2). Dadurch ist dieser Indikator (2mal aufgebaut) besonders für den Einsatz in Stereoanlagen geeignet: Während mit P2 der Unterschied der Verstärkungswerte beider Indikatoren ausgeglichen wird, kann P1 dann als Tandempotentiometer ausgeführt und damit ganz unterschiedlichen Anzeigefällen schnell angepaßt werden. Der minimale Eingangsspannungsbedarf liegt bei nur etwa 100 mV. Für den Einsatz als Stereo-Pegelkontrollgerät wurde eine Leiterplatte nach Bild 22 (Bestückungsplan s. Bild 23) entworfen, die zusammen mit den beiden Instrumenten in einem Gehäuse untergebracht werden kann. Bei ausschließlichem Einsatz für Monozwecke benutzt man nur die obere Hälfte des Leitungsmusters.

3.7. Stereo-Basisbreitenregler

Bei einer normalen Stereowiedergabe in einem Wohnraum begrenzter Ausdehnung wird die »Schallfläche«, von deren einzelnen Punkten der Schall je nach Ort der Schallquelle auf der Aufnahmeseite auszugehen scheint, vom Abstand der beiden Lautsprecherboxen bestimmt. Speist man aber jedem Kanal einen phasenverschobenen Anteil des Signals aus dem anderen Kanal ein, so rücken die Ortungsstellen der einzelnen Schallereignisse weiter nach außen; der Stereoeffekt wird verstärkt. (Das hat natürlich Grenzen; das Schallereignis darf dabei nicht »zerfallen«.) Bild 24 zeigt eine bewährte Schaltung, die u.a. auf W.W. Diefenbach zurückgeht. Ein Leitungsmuster dazu findet man in Bild 25, Bild 26 enthält den Bestückungsplan.

Ein solcher Regler wird am besten hinter dem Vorverstärker in die Anlage eingefügt. Gegenüber anderen möglichen Lösungen hat die Schaltung den Vorteil, daß auf Grund ihrer Auslegung eine »Einfügungsdämpfung« von 0 dB entsteht, d.h., die Signalamplitude wird nicht beeinflußt. Je nach Stellung von P1 ergibt sich mehr ein »monofoner«, ein »normaler« stereofoner oder ein »Überbreiten«-Effekt. Mit P2 paßt man bei Mittelstellung von P1 (einem Tandempotentiometer) bei erster Inbetriebnahme den Anteil, der gegenphasig von Kanal 1 auf Kanal 2 gelangt, dem des umgekehrten Weges an.

Wird die Leiterplatte nach Bild 25 gemäß Schaltung nach Bild 27 bestückt, so läßt sie sich parallel zum Stereoverstärker (wiederum an der gleichen Stelle angeschlossen) betreiben und kann in Verbindung mit einer im Frequenzgang relativ anspruchslosen Endstufe für Pseudoquadrofonieversuche benutzt werden. Näheres dazu beschreibt L. Steinke in »radio-fernsehen-elektronik« 21 (1972), Heft 14, Seite 449 bis 452. (Schaltungskorrektur für das dortige Bild 8 s. Heft 22, Seite 714!) Endverstärker und (möglichst diffus strahlender) rückseitig vom Zuhörer angebrachter 3. Lautsprecher vermitteln durch die (L – R)-Information einen »Tiefeneindruck« gegenüber der doch noch relativ »flächenhaft« wirkenden normalen Stereowiedergabe. Einstellhinweise u.a. findet man in der genannten Zeitschrift, in der auch einfachere Möglichkeiten der Pseudoquadrofonie beschrieben werden. Ein getrennter (L – R)-Kanal hat jedoch gegenüber dem direkten Anschluß eines Lautsprechers »quer« zu den beiden Stereoausgängen einige Vorteile. Zum Beispiel müssen bei direktem Anschluß die Innenwiderstände der Stereoendstufe sehr klein sein, sonst verringert sich die Übersprechdämpfung unzulässig.

3.8. Stereo-Kopfhörerverstärker

Der Vollständigkeit halber soll nochmals auf die bereits in Originalbauplan Nr. 26 vorgestellte Schaltung hingewiesen werden, da es für sie eine Leiterplatte (»SKV 1«) im Handel gibt und da diese für den Einschub in ein »Amateurelektronik«-Gehäuse zusammen mit der Stromversorgung von

2 × RZP2 geeignet ist. Alles Nähere findet man im genannten Bauplan. Dieser Verstärker ist innerhalb einer Stereoanlage auch als Abhörverstärker geeignet, z.B. in Verbindung mit dem Mischpult. Er kann selbstverständlich auch monofon betrieben werden. Man beachte die je nach Plattenspielerstecker (3- oder 5polig) unterschiedliche Belegung (1 und 3 beim 3poligen und 5 und 3 beim 5poligen!). In Originalbauplan Nr. 26 wird nur auf die noch weitverbreiteten 3poligen Stecker bezogen!

3.9. Empfehlung für mittlere Leistungsendstufen

In Form der Leiterplatte LVB 2 (s. Originalbauplan Nr. 26) steht eine zeitsparende Möglichkeit zur Verfügung, kleinere Anlagen, Lautsprecher-Abhörverstärker oder auch Zusatzverstärker für Pseudoquadrofonie (s.o.) aufzubauen. Seine hohe Eingangsempfindlichkeit (für 1 W etwa 1 mV) bzw. die Möglichkeit, im Tausch gegen Empfindlichkeit durch einen wählbaren Gegenkopplungswiderstand Bandbreite zu gewinnen, macht den LVB 2 im Einsatz sehr variabel. Es ist also durchaus denkbar, mit 2 × LVB 2 und den in diesem Bauplan beschriebenen Einzelschaltungen – je nach sich ergebendem Gesamt-Eingangsspannungsbedarf mit oder ohne Einsatz zusätzlicher Vorverstärker – eine kleine Heimakustikanlage in Mono oder Stereo, mit Mischpult und weiteren Zusatzeinrichtungen versehen, bausteinweise zusammenzustellen. (Man beachte dazu auch die in Originalbauplan Nr. 26 angedeuteten Möglichkeiten des erweiterten Einsatzes vor allem von Kassettenrecordern mit Hilfe des SNS 1!)

3.10. Stromversorgung und Störspannungsprobleme

Für die Stromversorgung der vorgestellten Teilschaltungen gibt es 3 Möglichkeiten. Grundsätzlich könnte eine Versorgung vom Hauptgerät aus erfolgen, erfordert aber entsprechende Eingriffe. Einzelgeräte (z.B. Mikrofon-Vorverstärker, der Verstärker nach 3.8., der Aussteuerungsindikator als getrennt aufgebaute Einheit u.ä.) erhalten unter Berücksichtigung von Stromaufnahme und Einsatzdauer entsprechend ausgewählte Batterien, z.B. RZP2-Kleinakkumulatoren. Kombinationen oder in Verbindung mit vorhandenen Anlagen laufend eingesetzte Teilschaltungen versorgt man aus einem Netzteil, das mit einem Schutztransformator ausgerüstet sein muß und die erforderlichen Siebmaßnahmen (Netzbrumm!) enthält. Gut geeignet sind z.B. handelsübliche, gekapselte Netzteile für Kofferempfänger, wie das mit etwa 200 mA belastbare SG6P für 12 V Ausgangsspannung. In Originalbauplan Nr. 26 wurde schließlich noch die Baugruppe GSB 1 mit im Handel erhältlicher Leiterplatte (35 × 80) vorgestellt, die man je nach Einsatzfall recht variabel bestücken und einstellen kann. Sie läßt sich z.B. aus einem entsprechend eingestellten Eisenbahn-Fahrtransformator speisen (etwa 2000 μF Sieb-C vorsehen!) und gibt eine stabilisierte Gleichspannung mit kleinem Restbrumm ab. In diesem Zusammenhang sei auf folgendes hingewiesen: Eine über die Versorgungsspannung in einen Verstärker gelangende Brummspannung kann im allgemeinen durch zusätzliche Siebglieder ausreichend unter das Nutzsignal gesenkt werden. Man speist dazu die Endstufe direkt aus dem Netzteil, während die Vorstufen über Widerstände mit der Betriebsspannung verbunden sind. Hinter diesen Widerständen liegen Elektrolytkondensatoren gegen Masse. Je kleiner der Strombedarf der Vorstufen, um so größer kann der Siebwiderstand werden, ohne daß unnötig viel von der Betriebsspannung für den Vorverstärker verlorengeht.

Bei ausreichend großem Verhältnis von Siebwiderstand zu Blindwiderstand des Kondensators läßt sich vereinfachend der Siebfaktor, also das Verhältnis von Brummspannung hinter dem Siebglied zur Brummspannung vor dem Siebglied, als $\frac{1}{2\pi fCR}$ angeben. (Das gilt, sofern der »Verbraucher«, also der Ersatzwiderstand der Stufe, ausgedrückt durch U_{Batt}/I_{Verst}, wesentlich größer als $\frac{1}{2\pi fC}$ ist.) Bei Einweggleichrichtung ist f = 50 Hz, bei Graetz- oder anderer Zweiweggleichrichtung dagegen 100 Hz. Höherer Gleichrichteraufwand spart also Siebmittel!

Brumm kann jedoch auch auf andere Weise in den Verstärker geraten, nämlich kapazitiv, induktiv oder galvanisch. Kapazitive Einstreuungen reduzieren sich stark, wenn die betroffene Stufe niederohmig ist. Daher sind vor allem hochohmige Eingangsstufen davon betroffen. Man muß sie also

gegebenenfalls abgeschirmt aufbauen (z. B. mit kupferkaschiertem Hartpapier oder Blech als Abschirmhaube). Die Zuleitungen müssen aus Abschirmkabel bestehen. Dieses hat aber eine gewisse Kapazität gegen Masse. Bei dünnen Mikrofonleitungen erreicht man schnell die Größenordnung 100 pF/m! In Verbindung mit hohen Quellwiderständen ergibt das eine Höhenbeschneidung. Mögliche Alternative: hochohmigen Eingangsverstärker räumlich der Quelle zuordnen (z. B. Kristallmikrofonverstärker) und mit niederohmigem Ausgang in die – dann eventuell nur verdrillte, unabgeschirmte – Leitung einspeisen.

Induktive Einstreuungen entstehen, wenn Eingänge zusammen mit Zuleitung und Masse-Rückführung praktisch »Fangspulen« aus einer Windung bilden. Verdrillen der Leitung und kurze, dicht parallel zur Masseleitung geführte Eingangsleitungen sind Maßnahmen gegen diese Effekte, die auch (bei großen Verstärkungen) zu Rückkopplungen Anlaß geben können, wenn der Aufbau ungünstig gewählt wurde.

Galvanische Verkopplungen (bei Netzteilen auf gemeinsamer Leiterplatte mit dem Verstärker auch bezüglich Brumm) entstehen bei ungünstiger Masseleitungsführung, z. B. im Sinne von Bild 28a. Grundsätzlich legt man daher die einzelnen Stufen möglichst mit einzelnen Leitungen an den gemeinsamen Nullpunkt der Schaltung, also z. B. an den Minusanschluß des Netzgeräts bzw. des letzten Kondensators im gemeinsamen Siebteil, auf jeden Fall aber die Endstufe getrennt und dem Netzteil am nächsten. Schleifenbildung ist zu vermeiden! Das bedeutet auch z. B., daß Abschirmleitungen nur auf einer Seite an Masse gelegt werden dürfen, z. B. auch keinesfalls für die Rückleitung einer Stromversorgung in Frage kommen. Schließlich neigen längere Verbindungen oft zu »Antenneneffekten«, wenn sich stärkere Rundfunksender in der Nähe befinden. Dagegen gibt es kein Patentrezept; gegebenenfalls ordnet man dicht an den Verstärkereingängen nur für HF wirkende Siebglieder an, die erst oberhalb der höchsten genutzten Niederfrequenz dämpfen. Niederohmige Leitungen sind dafür zwar weniger empfindlich, können aber ebenfalls bereits galvanisch eingekoppelte Störungen führen. Man berücksichtige bei der dann notwendigen Kontrolle der Erdungsverhältnisse auch Einflüsse, die über das Netzteil auf den Verstärker wirken können!

In diesem Zusammenhang – wenn auch thematisch nicht zur Überschrift dieses Abschnitts gehörend – noch einige Hinweise zum Rauschproblem: Rauschen stellt die Auswirkung »zufälliger« Vorgänge dar, die unterschiedliche Ursachen haben. Den Bauplanleser dürften Einzelheiten physikalischer Art dazu weniger interessieren. Wichtig ist die Frage, wie man diese Störung möglichst klein hält. Rauschen wird in einem Verstärker ebenso verstärkt wie das Nutzsignal. Daher sind die ersten Stufen am interessantesten. Man setzt dort nach Möglichkeit rauscharme Transistoren ein und betreibt sie außerdem noch bei günstigen Arbeitspunkten, praktisch mit kleinen Strömen. Auch Widerstände rauschen; je höher ihr Wert, um so stärker ist innerhalb jedes Typs die Rauschspannung. Unnötig hohe Widerstandswerte am Eingang einer Schaltung sind also vom Rauschen her ungünstig. Lautstärkepotentiometer prasseln zudem noch beim Betätigen. Von diesem Standpunkt aus sollte man sie möglichst weit »hinten« anordnen, muß dann aber die davor liegenden Eingangsstufen für das höchste mögliche Eingangssignal übersteuerungsfest auslegen. Potentiometer, die weiter hinten angeordnet werden, haben außerdem den Vorteil, daß bei kleiner eingestellter Lautstärke proportional auch das Rauschen auf der Wiedergabeseite geringer wird.

Rauschspannungen aus Signalquellen lassen sich dagegen höchstens durch Frequenzgangeinengung im Sinne des weiter vorn beschriebenen Rauschfilters verringern.

4. Buchsenbelegungen bei NF- und Rundfunkgeräten

Die NF-Ein- bzw. Ausgänge von Plattenspielern, Bandgeräten, Verstärkern und Rundfunkempfängern sind noch nicht immer so beschaltet, daß sich Verbindungen ohne Komplikationen ermöglichen lassen. Seit Einführung der 5poligen Diodensteckverbindungen gibt es zwar einheitliche Belegungen für die Verbindungen von Stereogeräten untereinander, doch existieren noch viele Geräte mit 3poligen Steckverbindungen (z. B. auch ältere Stereoplattenspieler!). Viele Verstärker (z. B. HSV 900) tragen dem Rechnung durch geeignete Buchsenkombinationen (bei »Fono« z. B. ist 1 mit 5 verbunden). Bild 29 gibt die Belegungen für Plattenspieler mit 3- und mit 5poligen Steckern wieder sowie die

Buchsenbelegungen von Stereo-Magnettonbandgeräten und Stereorundfunkempfängern. Nach einem Vorschlag von K.-H. Finke in »FF Dabei«, Heft 29/73, kann man mit 2 einfachen Adapterstücken auch zwischen Stereoempfänger und Mono-Magnettonbandgerät bzw. zwischen Stereoplattenspieler und Mono-Magnettonbandgerät einwandfreie Aufnahmen erzielen, die selbstverständlich eben nur in Mono, aber jedenfalls als Summe beider Kanäle, aufgezeichnet werden (Bild 30 und Bild 31). Zwischen rechter Buchse und Buchse des Magnetbandgeräts ist die übliche Verbindungsleitung erforderlich.

In letzter Zeit erschienen eine Reihe von Kassettenrecordern im Handel, bei denen zur richtigen Verbindung mit anderen Geräten unbedingt die beigefügten Schaltbilder beachtet werden müssen. Sie tragen bisweilen Kombinationsbuchsen, auf denen sich manchmal noch Kontakte für Schaltermikrofone befinden. Einzeldarstellungen zu diesen Problemen gehen über den Rahmen dieses Bauplans hinaus. Die Gerätebeschreibung und die jeweils zum Lieferumfang gehörenden Überspielkabel stellen richtige Handhabung für die häufigsten Betriebsfälle sicher.

5. Aufbaubeispiele

5.1. Mikrofonverstärker

Überall dort, wo nur geringe Signalpegel zu erwarten sind, kann ein netzunabhängiger, batteriegespeister Vorverstärker als selbständige Einheit eingesetzt werden. Eine geeignete Leiterplatte wurde bereits in Abschnitt 3.3. vorgestellt. Bezüglich der Schaltungswahl paßt man die 1. Stufe dem Widerstand der Quelle an, während die 2. Stufe meist niederohmiger ausgelegt wird, so daß problemlose Weiterleitung des verstärkten Signals sichergestellt ist.

Bild 32 zeigt 3 Schaltungsvarianten, die entsprechend den bereits in Abschnitt 3.3. beschriebenen Bestückungsmöglichkeiten aufgebaut werden können. Bild 32a gibt einen Verstärker für ein 200-Ω-Mikrofon wieder. Die 1. Stufe in Basisschaltung stellt den erforderlichen kleinen Eingangswiderstand zur Verfügung, die 2. wirkt als Trennstufe. Sie hat als Kollektorschaltung keine Spannungsverstärkung. Der kleine Ausgangswiderstand ergibt unproblematische Weiterleitung des verstärkten Signals. Bild 32b ist für handelsübliche dynamische Mikrofone mittlerer Impedanz geeignet, wie sie für Heim-Magnettonbandgeräte üblich sind. Der Ausgangspegel dieses Verstärkers läßt sich einstellen. Die beiden Ausgänge gestatten den Anschluß an unterschiedliche Folgegeräte: Der obere liefert höhere Spannungsverstärkung bei höherer Impedanz, der untere kleinere Verstärkung bei niedriger Ausgangsimpedanz. Man beachte gegebenenfalls die Phasenlage beider Ausgangsspannungen (180° Unterschied)!

Bild 32c schließlich zeigt einen für Kristallmikrofone geeigneten Verstärker: Stufe 1 in Kollektorschaltung ergibt den erforderlichen hohen Eingangswiderstand, Stufe 2 liefert die nötige Spannungsverstärkung.

Für einen solchen Verstärker kann ein abschirmendes Gehäuse aus kupferkaschiertem Hartpapier zusammengelötet werden, doch eignen sich auch sehr gut die kleinen Wandelemente des »Amateurelektronik«-Systems sowie dessen Batteriebehälter. Ähnliche Lösungen wurden bereits in Originalbauplan Nr. 19 vorgestellt, dort für Kopfhörerverstärker (Bild 33). Buchsen, Schalter und eventuell Lautstärkepotentiometer werden an Front- und Rückwand eines solchen Gehäuses oder auch an einem Wandelement befestigt (Steck- und Zugkräfte berücksichtigen!). Die konstruktive Gestaltung soll leichte Demontage zwecks Batteriewechsel zulassen. Für die lösbare Befestigung der Leiterplatte im Gehäuse, auch, wenn ihre Abmessungen nicht den »Standards« von »Amateurelektronik« entsprechen, eignen sich die seit 1974 erhältlichen Gleitschienen. Bei genügend flachen Lötstellen können mit ihnen Leiterplatten auch parallel zu einer Wand eingeschoben werden. Für diesen Montagefall gemäß Bild 34 wählt man ein passendes Wandstück der 1974 erschienenen größeren Gehäuseteile, da andernfalls die Gleitrippen der kleinen Wandelemente stören würden.

Übrigens muß die Größe der in Abschnitt 3. vorgegebenen Leiterplatten nicht als verbindlich angesehen werden. Da sich diese Schaltungen in den unterschiedlichsten Gehäusen und Kombinationen einsetzen lassen, dürfte manchmal ein größeres Format durchaus sinnvoll sein. Beispielsweise kann

man Platten, die ursprünglich z.B. nur 40 mm breit waren, auf eine Breite von 55 mm vergrößern und hochkant in die »Grundgröße« des neuen Gehäuseteilesortiments mit 2 eingeklebten Gleitschienen mit je 2 mm Innenhöhe einschieben.

5.2. Vorverstärker für 2 Mikrofone

Die Platte nach Abschnitt 3.2. läßt folgende interessante Möglichkeit zu: An 2 Orten (meist eines einzigen Raumes) befindet sich je 1 Mikrofon, z.B. 1 Rednerpult-Mikrofon und 1 Mikrofon beim Versammlungsleiter. Beide werden an einen gemeinsamen Mischverstärker angeschlossen, dessen Ausgang zum Endverstärker führt. (Allerdings – doch das stört meist nicht – lassen sich die Pegel beider Mikrofone nicht getrennt einstellen.)

Bild 35 zeigt einen solchen Verstärker, der – zur Anpassung an den Hauptverstärkereingang – 2 Ausgänge unterschiedlicher Impedanz bietet. Die Bestückung erfolgt nach Bild 36. Die eine Leiterplattenhälfte wird als Mischstufe mit 2 Eingängen bestückt, die andere als Impedanzwandler. (Dieser Bestückungsfall stellt einen gewissen Kompromiß zwischen »ästhetischer« Anordnung und der Zweckmäßigkeit einer vorhandenen Mehrzweckplatte dar.) Ausgang 1 eignet sich für Verstärker mit einigen zehn Kiloohm Eingangsimpedanz, während Ausgang 2 für niederohmige Eingänge mit entsprechend geringem Spannungsbedarf gedacht ist.

In das ähnlich den Vorschlägen in 5.1. zu gestaltende Gehäuse kann noch ein Lautstärkepotentiometer eingebaut werden. Mit »Räuspertasten« lassen sich die Mikrofoneingänge gegebenenfalls überbrücken, doch muß (wenn man nicht in das Mikrofon eingreifen will) eine solche Schalter-Leitung ebenfalls abgeschirmt sein. Die üblichen Schaltermikrofonzuleitungen sind nicht abgeschirmt!

5.3. Mischpult

Mischpulte für die »Eigenproduktion« von Magnettonbandaufnahmen oder auch zur »live«-Übertragung von Schallereignissen in Discotheken, bei Parties usw. sind bereits für Monobetrieb reizvoll. Die im folgenden beschriebene Variante beschränkt sich daher auch darauf; bei Stereo verdoppelt sich nicht nur der Aufwand, sondern man benötigt z.B. auch Tandempotentiometer für das Ausgangssignal und muß alle parallelen Stufen beider Kanäle mit Bauelementen möglichst gleicher Daten bestücken.

Bild 37 zeigt die Konzeption des Mischpults in »halbsymbolischer« Darstellung.

Das Mischpult hat 4 Eingänge in Form von Diodenbuchsen, hinter denen die Anpassung an die jeweils vorgesehenen Signalquellen mit Vorwiderständen und Parallelkondensatoren erfolgt. Als Vorbild dienten die Eingänge des bekannten Stereoverstärkers HSV 900. Die Impedanzwandlerplatte nach Abschnitt 3.1. wurde voll bestückt; die Eingangspotentiometer stellen sicher, daß für alle Quellen ein etwa gleich großer mittlerer Ausgangspegel erzielt wird. Statt ihrer kann man auch die hinter der Impedanzwandlerplatte eingezeichneten Vorregler (VR) benutzen; eine von beiden Arten genügt! Die eigentlichen Pegelregler (PR) sollten – falls erhältlich – Flachbahnregler sein (Bild 38, in modernen Fernsehempfängern eingesetzt!), da sie sich besser als Drehpotentiometer betätigen lassen und eine optisch wirksamere Rückmeldung der jeweiligen Einstellung ergeben. Von den Pegelreglern gelangen die Signale in das Kernstück des Mischpults, nämlich in den Mischverstärker (s. Abschn. 3.2.!). Die Kombination Verstärker, Rausch- und Rumpelfilter sowie Klangregler kann in der in Abschnitt 3.4. und Abschnitt 3.5. angedeuteten Art realisiert werden. Es folgen die Summenregler (möglichst ebenfalls eine Flachbahnausführung) und ein 1stufiger Verstärker auf einer Mehrzweck-Doppelverstärkerplatte, der den erforderlichen Ausgangspegel liefert. Das Ausgangssignal wird zu 2 unterschiedlich beschalteten Diodenbuchsen geführt, so daß die beiden Ausgänge des Verstärkers (I: mittlerer Ausgangswiderstand, d.h. Normalausgang, und II: niederohmiger Ausgang mit geringem Pegel) unverwechselbar zugänglich sind.

Parallel zu Ausgang I liegt ein Aussteuerindikator, für den die Variante nach Bild 21 benutzt wurde. Sie ist leicht einzustellen und hat einen günstigen Eingangswiderstand. Falls der angedeutete Abhörverstärker (für Kopfhörer) eingebaut wird, benötigt man noch einen Dreh- oder Tastenschalter für 5 Stellungen im Mischpult. Die Anschlußpunkte A bis D sollen vor den Pegelreglern liegen, damit die Eingangssignale unabhängig von der Reglerstellung kontrolliert werden können. Daher erhält der Abhörverstärker einen eigenen Lautstärkeregler. Der Verstärker muß für Kopfhörerlautstärke in jedem Fall ausreichende Verstärkungsreserven haben. Sein Eingang muß genügend hochohmig sein, damit er die Anschlußpunkte möglichst wenig belastet.

Falls ein Mischpulteingang ständig mit einem Mikrofon betrieben werden soll, kann man auf eine der Impedanzwandlerstufen verzichten und dafür 1 oder 2 Mikrofonverstärkerstufen fest einbauen. Eleganter ist es, wahlweise statt des Vorwiderstands zwischen Eingangsbuchse und Impedanzwandlerstufe eine Verstärkerstufe nach Bild 39 vorzuschalten. Das geschieht dann über einen Tastenschalter; der Verstärker wird auf einem Teil einer Mehrzweckplatte aufgebaut. Bild 40 zeigt eine dafür geeignete Schaltung.

Die Mischeinrichtung wird am besten in Form eines Pults aufgebaut. Dazu eignen sich alle üblichen Gehäusematerialien, also neben Holz und PVC oder Polystyrol auch kupferkaschiertes Hartpapier. Letztgenanntes bietet zusätzlich eine elektrostatische Abschirmung. Für den Innenaufbau können z.B. Metallschienen des ER10-Systems eingesetzt werden. Dieses System enthält auch spezielle Platten für die Befestigung von Potentiometern und Baugruppen. Da das Äußere und damit auch Proportionen und Volumen stark von den persönlichen Vorstellungen (und von den verfügbaren Reglern, dem Instrument usw.) abhängen, wurde auf eine detaillierte Bauskizze verzichtet. Ein von den Autoren gebautes Muster mit Flachbahnreglern erkennt man in Bild 41.

Das Mischpult sollte keinesfalls zu eng aufgebaut werden, damit man an den Bedienelementen genügend Bewegungsfreiheit hat. Die Diodenbuchsen wird man an der Rückwand montieren, so daß die Zuleitungen nicht stören. Eine netzunabhängige Eigenstromversorgung erfolgt am besten aus leicht auswechselbaren RZP2-Akkumulatoren, wenn man nicht die preisgünstigen Flachbatterien benutzt. Die Anordnung der Leiterplatten richtet sich nach der gewählten Gesamtgestaltung. Auch sie sollen möglichst gut zugänglich bleiben. Man kann sie z.B. in Gleitschienen von »Amateurelektronik« haltern; die Schienen klebt man an Wandelemente, die im Gestell montiert werden.

Gegenüber dem »Schaltungsmosaik« mußten Gerätekombinationen in diesem Bauplan zurückstehen. Die Autoren hoffen jedoch, daß die Anregungen ausreichen, damit jeder Leser die für seine Anlage günstigsten und nützlichsten Einzelkomplexe mit möglichst kleinem »Eigenentwicklungsaufwand« aufbauen und nutzen kann.

6. Literatur

»Heimakustiker« finden vor allem in den folgenden beiden Büchern der »Amateurbibliothek« des Militärverlags der Deutschen Demokratischen Republik weitere Informationen: »Amateurtontechnik« von H. Jakubaschk und »abc der Niederfrequenztechnik« von K. K. Streng.

Außerdem sei auf einzelne Titel der »electronica«-Reihe verwiesen, u.a. auf »Transistorisiertes Kleinmagnetbandgerät, selbstgebaut« von R. Anders.

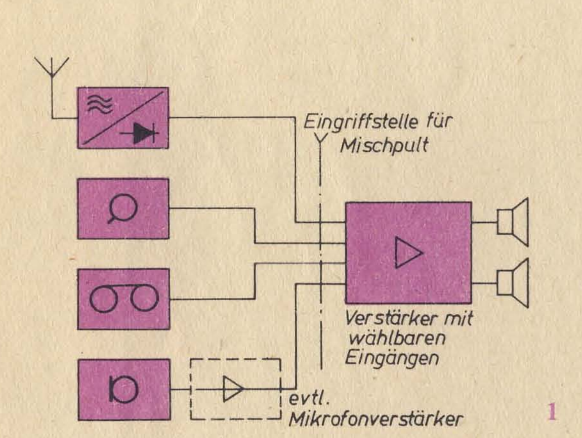
1.–20. Tausend · Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1975 · Cheflektorat Militärliteratur · Lizenz-Nr. 5 · LSV-Nr.: 3539 · Lektor: Wolfgang Stammler · Zeichnungen: Manfred Schulz Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Hannelore Lorenz · Korrektor: Eva Plake · Printed in the German Democratic Republic · Lichtsatz: GG Interdruck Leipzig · Druck und Buchbinderei: Sachsendruck Plauen Redaktionsschluß: 19. April 1974 · Bestellnummer: 745 664 6

Tabelle 1

	Spannung	Quellwiderstand	Frequenzbereich
Mikrofone			
Kohlemikrofon	100 mV	30 bis 500 Ω	300 bis 4 000 Hz
Kristallmikrofon	2 mV	160 kΩ bei 1000 Hz	100 bis 7 000 Hz
Tauchspulmikrofon	0,15 mV	200 Ω	30 bis 12 000 Hz
Kondensatormikrofon	1,5 mV	200 Ω mit Verstärker	30 bis 16 000 Hz
Tonabnehmer			
magnetischer Tonabnehmer	10 bis 20 mV	einige Kiloohm	30 bis 15 000 Hz
Kristalltonabnehmer	0,8 bis 1,6 V	200 bis 500 kΩ bei 1000 Hz	40 bis 12 000 Hz
dynamischer Tonabnehmer	einige Millivolt	2 bis 15 Ω	30 bis 15 000 Hz
Rundfunkempfänger			
AM-Diodenausgang	5 bis 50 mV	10 bis 100 kΩ	50 bis 10 000 Hz
FM-Demodulator	100 bis 500 mV	einige Kiloohm	30 bis 16 000 Hz

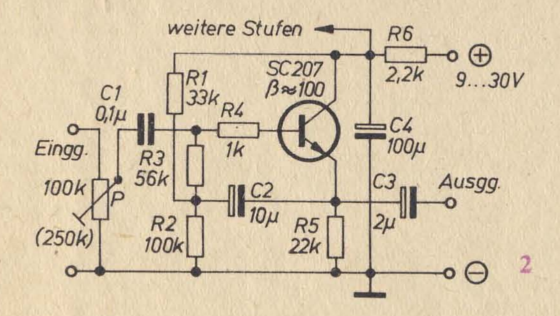
Tabelle 2

dB	U-Verhältnis
0	1
3	1,41
6	2
10	3,16
14	5
20	10
30	31,62
40	100
60	1000
80	10 000
100	100 000



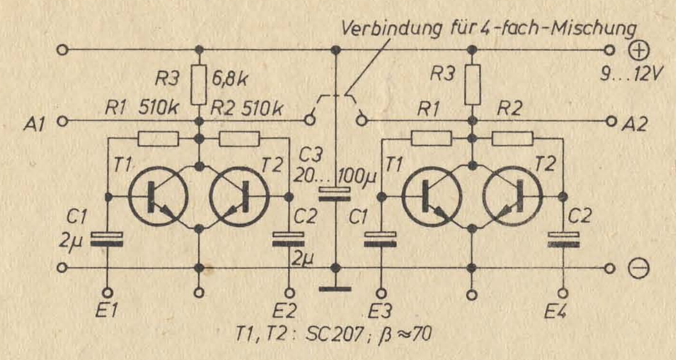
1

Bild 1
Teile einer »Heimakustik«-Anlage (gestrichelt: meist notwendiger Eigenbau-Zusatz; strichpunktiert: mögliche Einsatzstelle für ein Eigenbau-Mischpult)



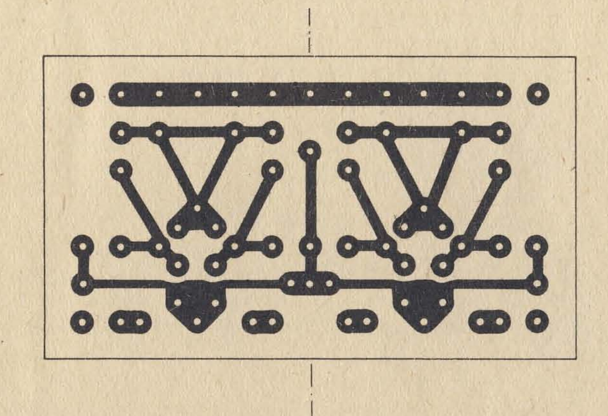
2

Bild 2
Impedanzwandlerstufe in »Bootstrap«-Schaltung. Der Eingangswiderstand wird hauptsächlich vom Eingangspotentiometer bestimmt.



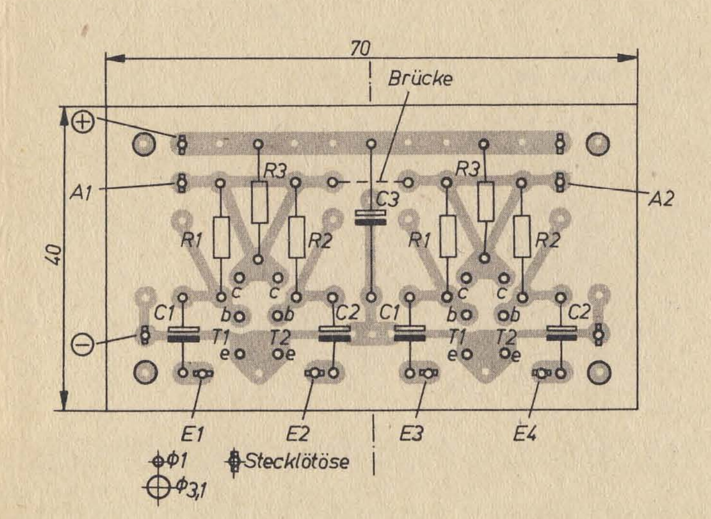
5

Bild 5
Einfache NF-Mischstufe (Bedingung: geringe Abweichung der Transistordaten voneinander), als Doppel-Mischstufe zusammenschaltbar



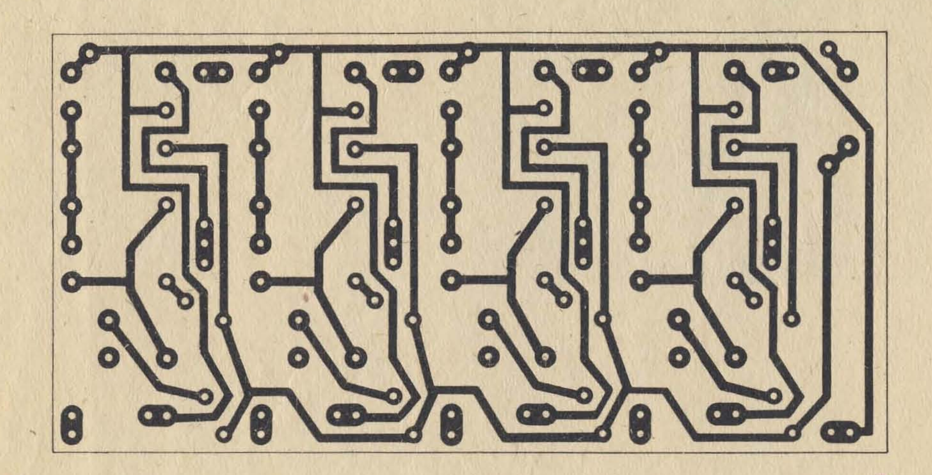
6

Bild 6
Leitungsmuster für Doppel-Mischstufe nach Bild 5 (Mischung von 4 Eingängen möglich)

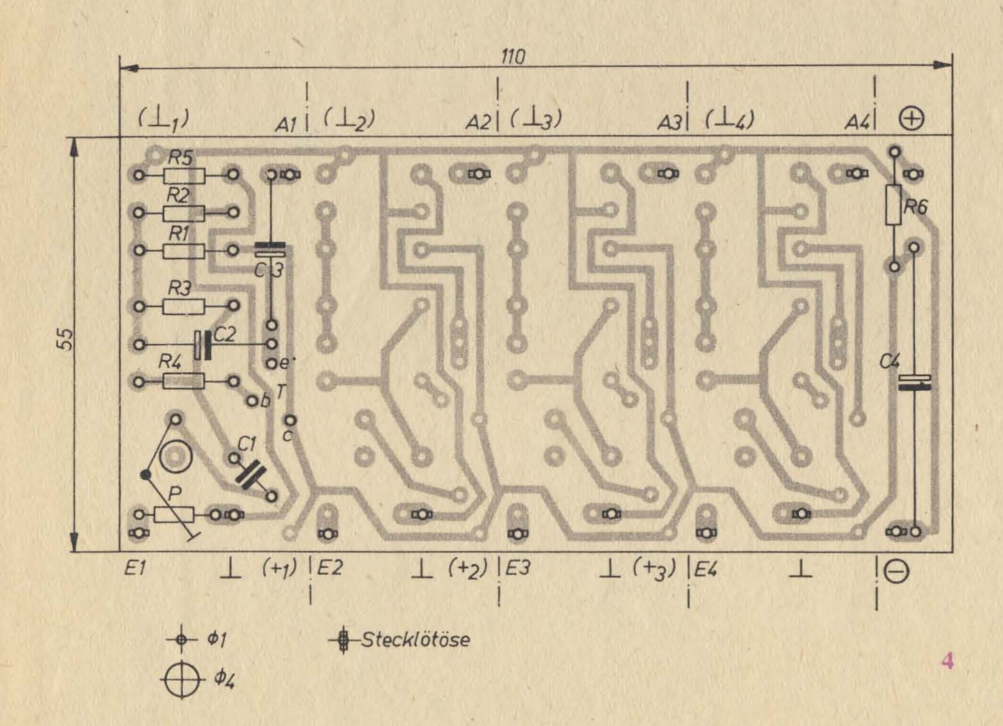


7

Bild 7
Bestückungsplan für die beiden Mischstufen



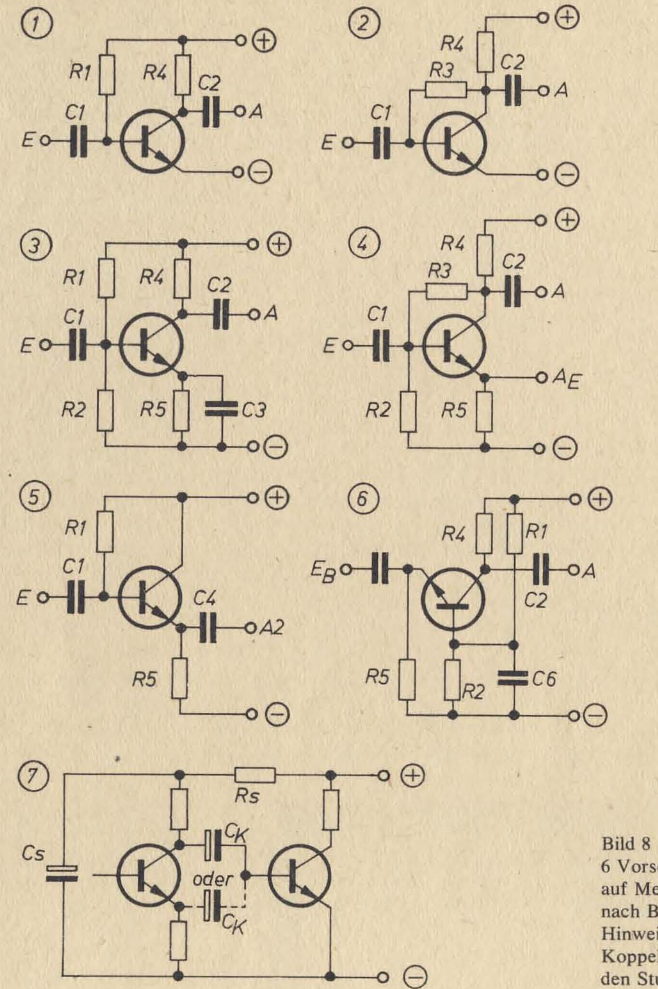
3



4

Bild 3
Leitungsmuster für 4 Bootstrap-Stufen nach Bild 2

Bild 4
Bestückungsplan einer Stufe nach Bild 2 und Bild 3



8

Bild 8
6 Vorschläge für Schaltungen auf Mehrzweckleiterplatten nach Bild 9. Vorschlag Nr. 7 gibt Hinweise für das Einfügen von Koppel-Kondensatoren zwischen den Stufen

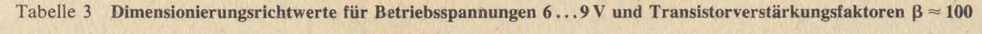
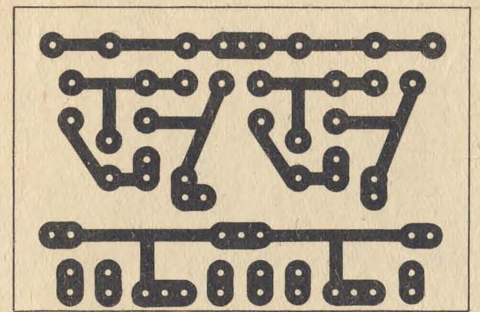
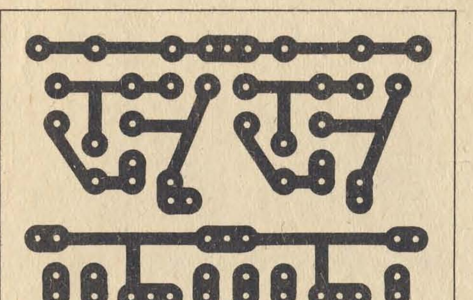


Tabelle 3 **Dimensionierungsrichtwerte für Betriebsspannungen 6 … 9 V und Transistorverstärkungsfaktoren $\beta \approx 100$**

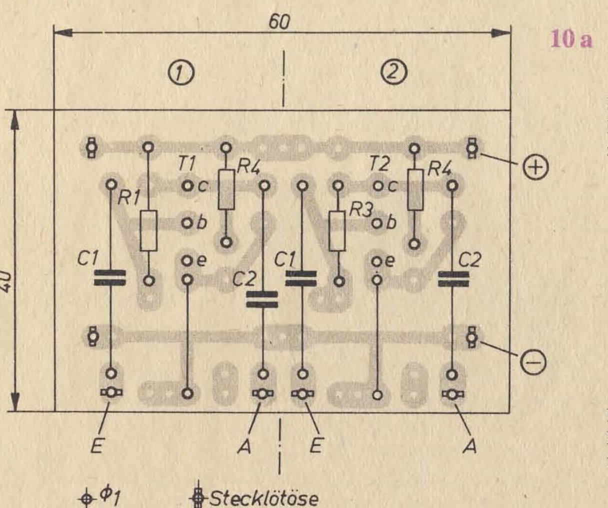
		R 1	R 2	R 3	R 4	R 5	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
1	einfache Emitterstufe	1 MΩ	–	–	4,7 kΩ	–	1 … 5 µF	≧ 1 µF	Brücke	–	–	–
2	Kleinsignal-Emitterstufe	–	–	1 MΩ	10 kΩ	–	1 … 5 µF	≧ 1 µF	Brücke	–	–	–
	mit Parallelgegenkopplung	–	–	470 kΩ	4,7 kΩ	–	1 … 5 µF	≧ 1 µF	Brücke	–	–	–
3	Emitterstufe mit Gleichstrom-Seriengegenkopplung	100 kΩ	22 kΩ	–	2,2 kΩ	220 Ω	5 … 20 µF	≧ 10 µF	20 … 100 µF	–	–	–
4	Emitterstufe mit 2 Ausgängen	–	100 kΩ	220 kΩ	4,7 kΩ	220 Ω	5 … 20 µF	≧ 10 µF	–	–	–	–
5	Kollektorstufe (Impedanzwandler)	1 MΩ	–	–	Brücke	10 kΩ	0,1 … 1 µF	–	–	1 … 5 µF	–	–
6	Basisstufe mit kleinem Eingangswiderstand Betriebsspannung 2 … 3 V!	22 kΩ	10 kΩ	–	3,3 kΩ	470 Ω	–	10 µF	–	–	10 µF	20 … 100 µF





9

Bild 9
Leitungsmuster einer Mehrzweck-Doppelstufe



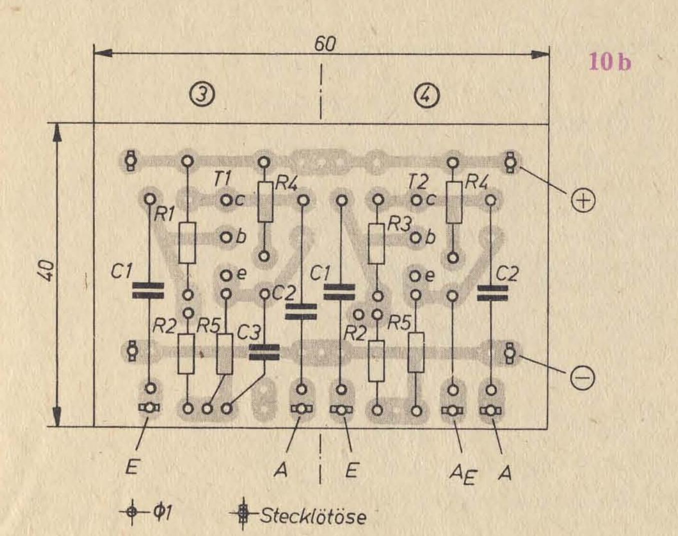


Bild 10
Bestückungspläne der Schaltungen nach Bild 8

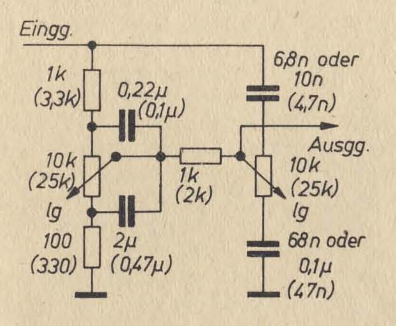


Bild 11
»Klassische« Schaltung für die Höhen- und Tiefenregelung

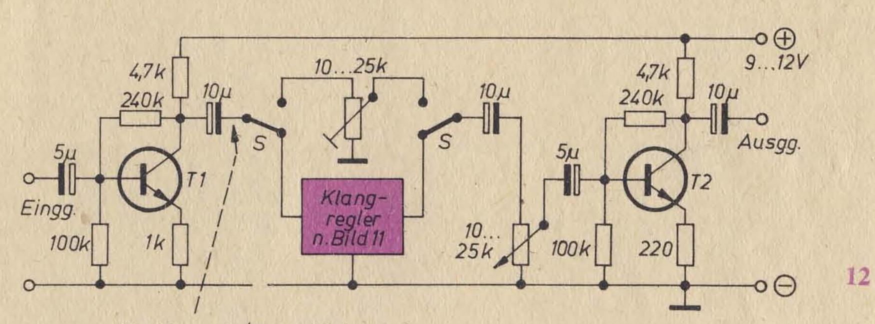
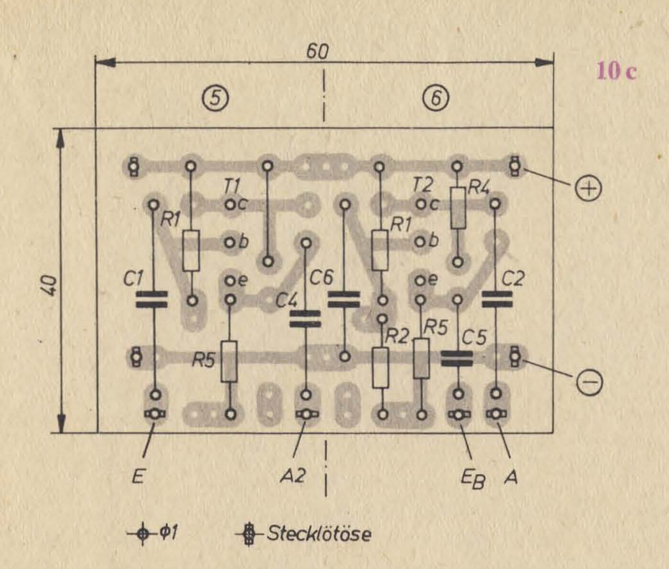
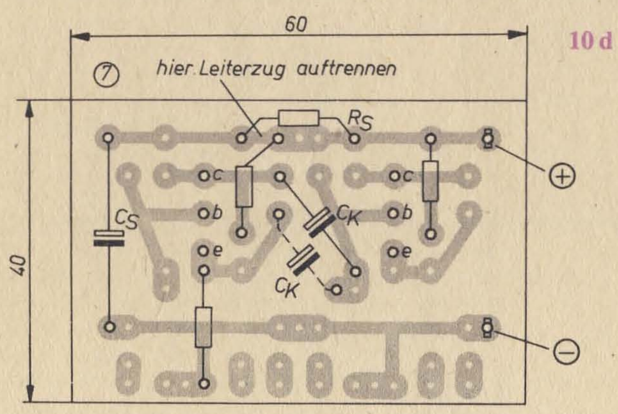


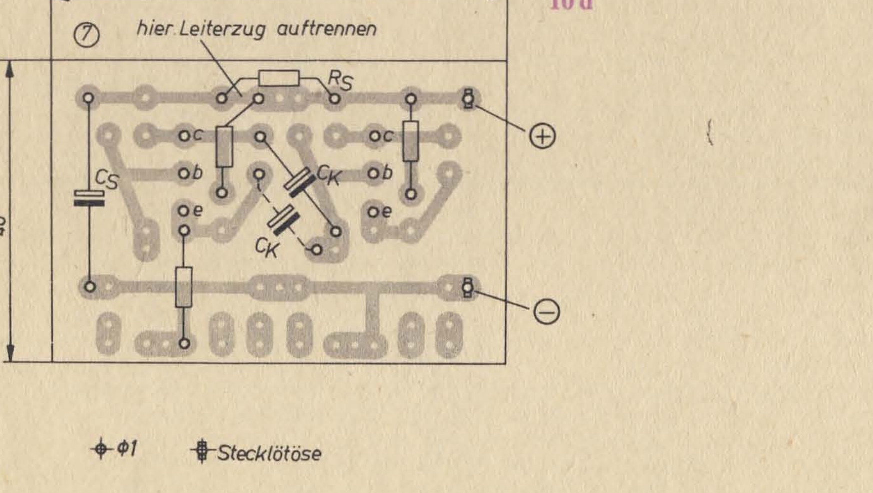
Bild 12
Verstärkeraufwand (mit Reserven) zum Ausgleich der vom Regler nach Bild 11 verursachten Dämpfung. Mit Schalter S kann wahlweise der Klangregler oder das entsprechend eingestellte Dämpfungsglied eingeschaltet werden, das die gleiche Dämpfung wie der Klangregler (bei mittleren Frequenzen) hat. Die Verstärkerstufen finden auf einer Doppelplatte Platz, das Potentiometer wird außerhalb montiert

10 c



10 d





13

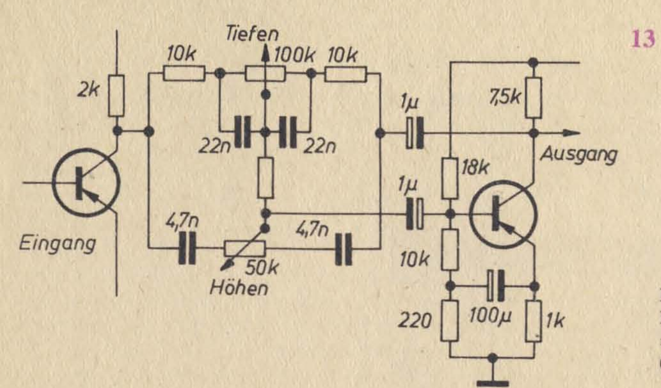
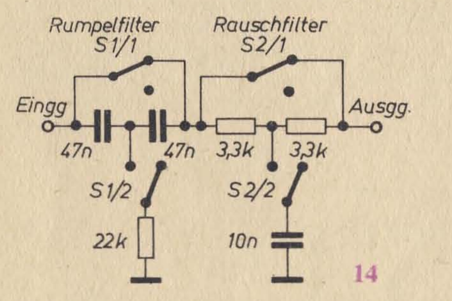


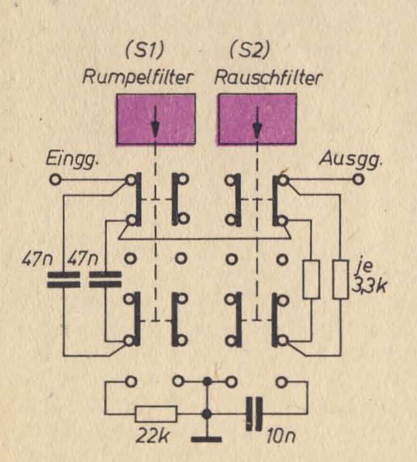
Bild 13
Klangregelschaltung aus »Schaltungssammlung« (Blatt 3.13)



14

Bild 14
Einfachste Rumpel- und Rauschfilterkombination

Bild 15
Verdrahtungsvorschlag zu einem Tastenschalter für die Schaltung nach Bild 14



15

16

0,1µ
2,2n
10k

17

1,2k
GC 116
PKM 20
47n
Transistor als Diode geschaltet

Bild 16
Einfachster Pegelindikator (Tesla B4) für Anschaltung an Endstufe

Bild 17
Pegelindikator aus dem KT 100, ebenfalls nur für Endstufenanschluß geeignet

18

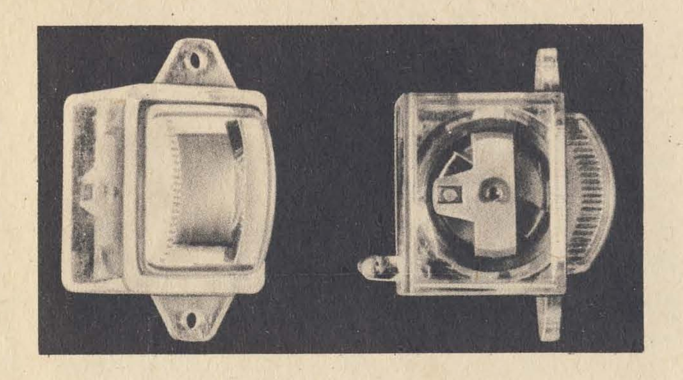


Bild 18
Instrumente für Pegelindikatoren: »grün« $R_i \approx 160\,\Omega$, $I_{voll} \approx 1\,mA$; »rot« $R_i \approx 350\,\Omega$, $I_{voll} \approx 400\,\mu A$

19

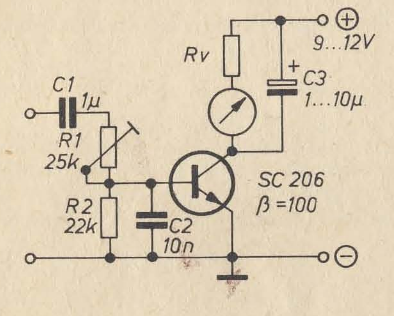


Bild 19
Pegelindikator mit Verstärkerstufe; nur geeignet für Schaltungsstellen, bei denen Pegel > $U_{schwell}$ des Transistors

20

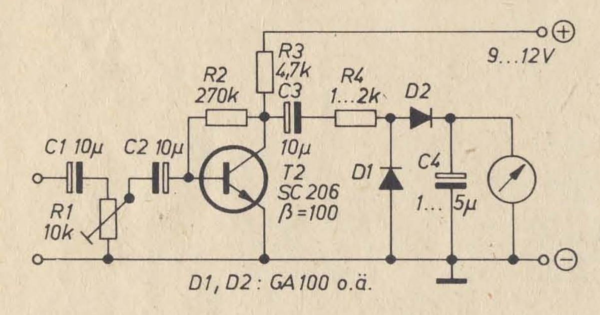


Bild 20
Pegelindikator mit geringem Eingangsspannungsbedarf

21

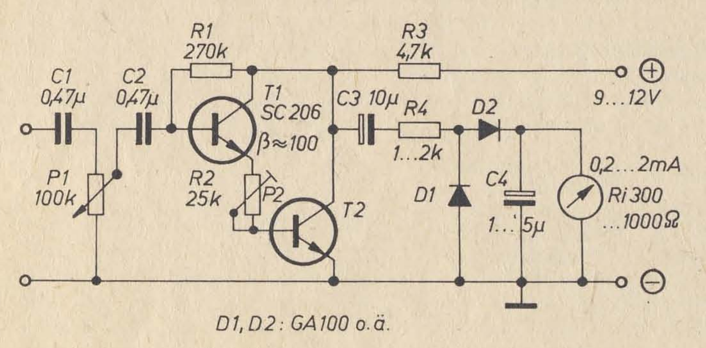


Bild 21
Erst dieser Pegelindikator kann auf Grund seines hohen Eingangswiderstands auch an Vorstufen angeschlossen werden. Minimaler Eingangsspannungsbedarf etwa 100 mV

Bild 28
Unzweckmäßige (a) und zweckmäßige (b) Leitungsführung einer Masseleitung (Beispiel: Siebkondensator). Auf den Leitungsstücken »x – x« in a) bleiben die Ladestromimpulse für den Ausgang wirksam!

Bild 29
Kontaktbelegungen (auf die Lötseite gesehen) für Plattenspieler (a), Magnettonbandgerät (b) und Magnettonbandbuchse bei Stereo-Rundfunkempfängern

24

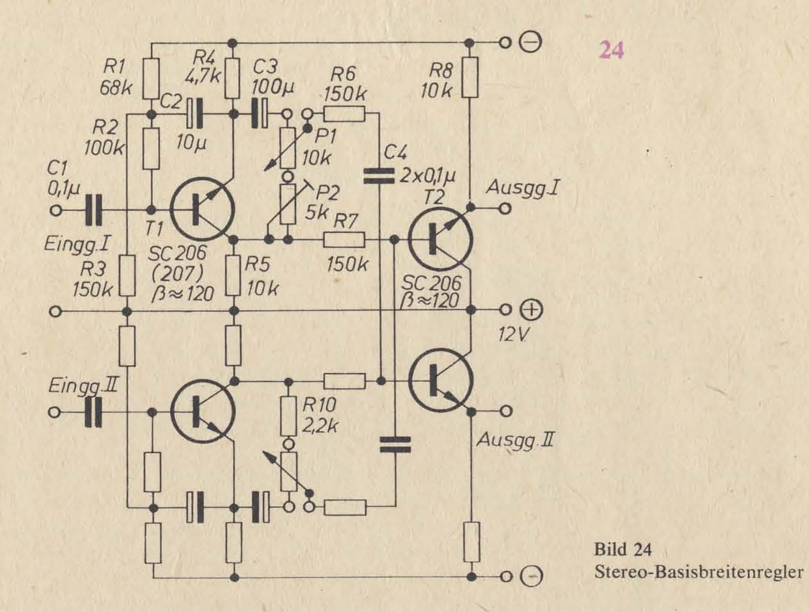


Bild 24
Stereo-Basisbreitenregler

25

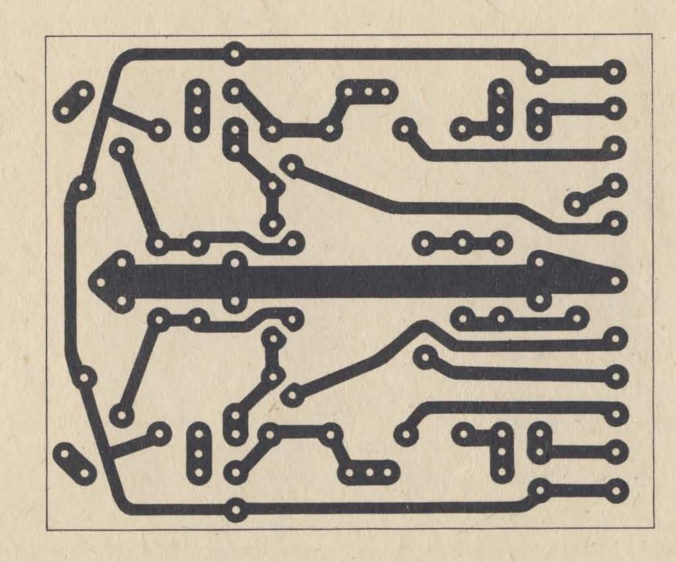


Bild 25
Leitungsmuster zu Bild 24



22

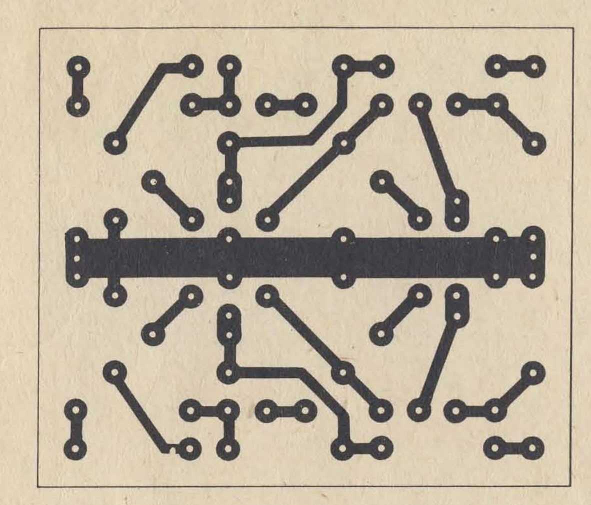


Bild 22
Leitungsmuster für 2 Pegelindikatoren nach Bild 21, für Stereozwecke geeignet

23

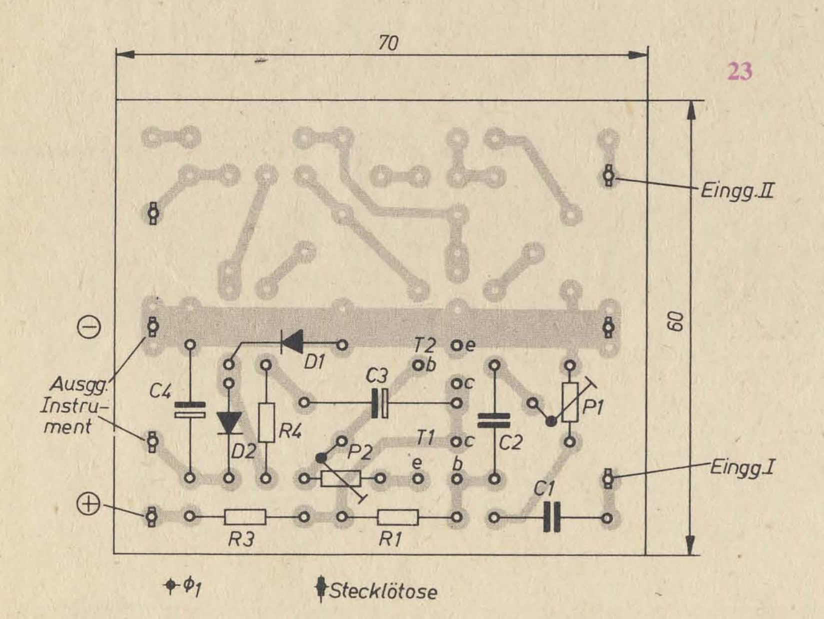


Bild 23
Bestückungsplan zu einer Hälfte von Bild 22

26

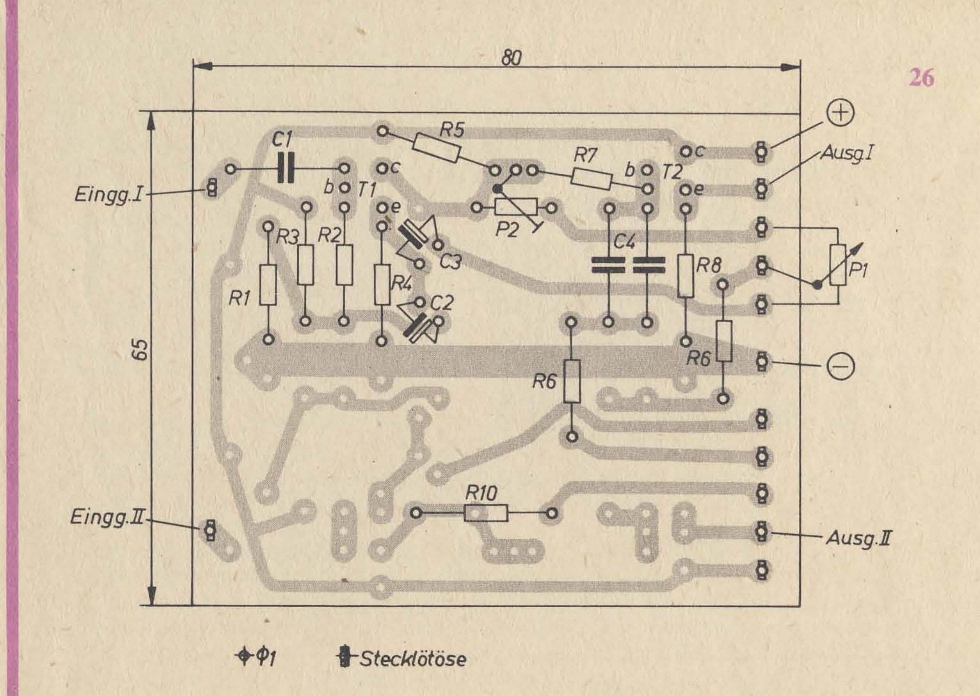


Bild 26
Bestückungsplan für Bild 25

27

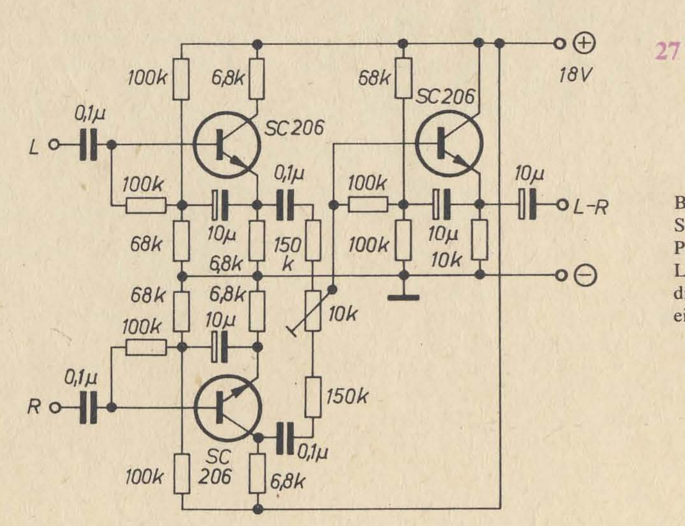
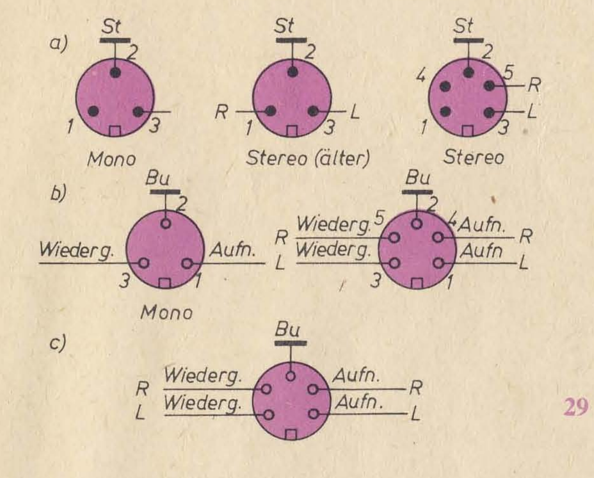
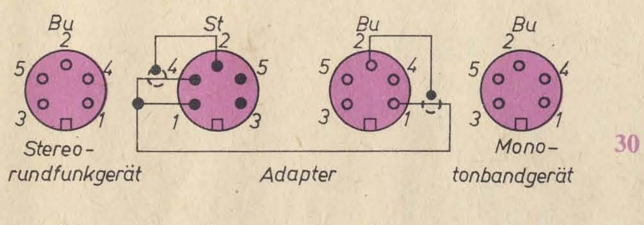


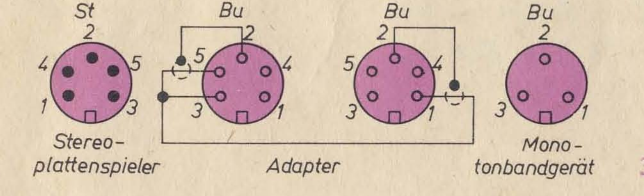
Bild 27
Schaltung für Versuche zur Pseudoquadrofonie nach L. Steinke; für sie ist ebenfalls die Leiterplatte nach Bild 25 geeignet



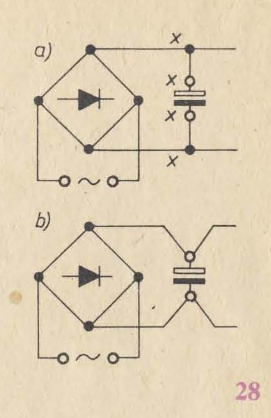
29



30



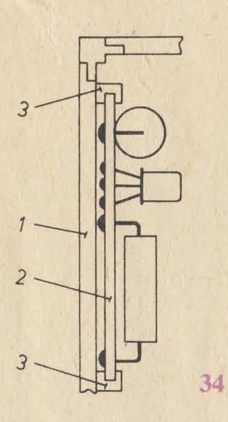
31



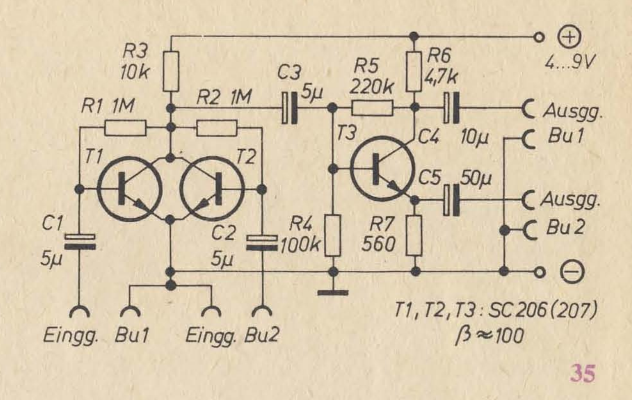
28

Bild 30
Mit diesem Adapterstück kann eine Stereosendung auf einem Mono-Magnettonbandgerät zwar monofon, aber als Summe beider Kanäle aufgenommen werden (nach K.-H. Finke)

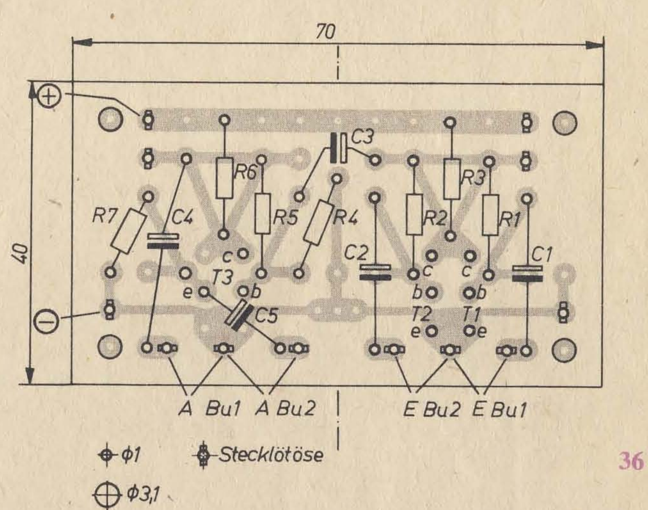
Bild 31
Adapterstück zum Überspielen von Stereoschallplatten auf Mono-Magnettonbandgeräte (nach K.-H. Finke)



34



35

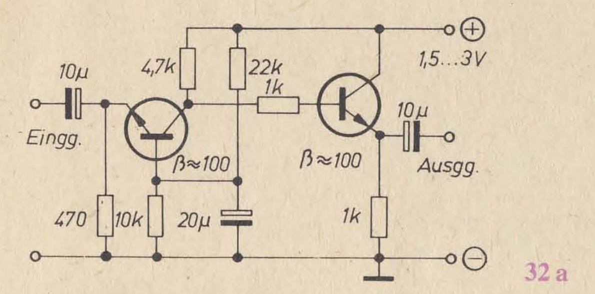


36

Bild 34
Montagemöglichkeit für Leiterplatten parallel zu den neuen Wandelementen von »Amateurelektronik«: 1 – Wandelement, 2 – Leiterplatte (in 3 eingeschoben), 3 – Gleitschienen (an 1 geklebt)

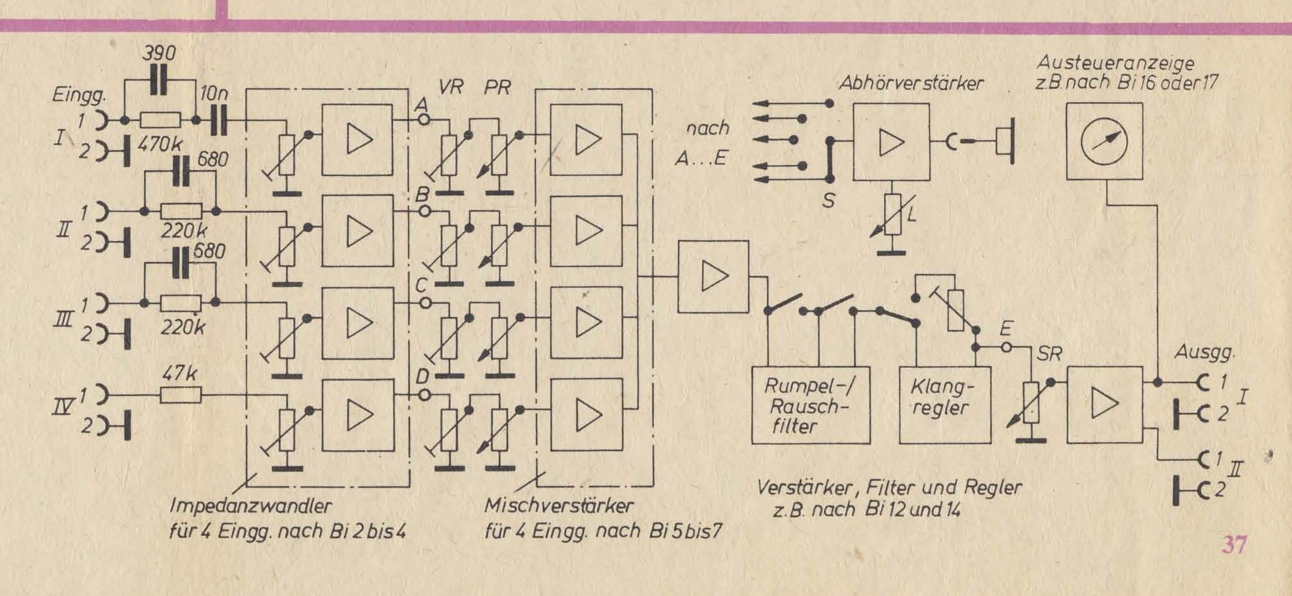
Bild 35
Verstärker für 2 Mikrofone (z. B. für Versammlungen)

Bild 36
Bestückungsvorschlag für Bild 35 auf Doppel-Mischstufenplatte

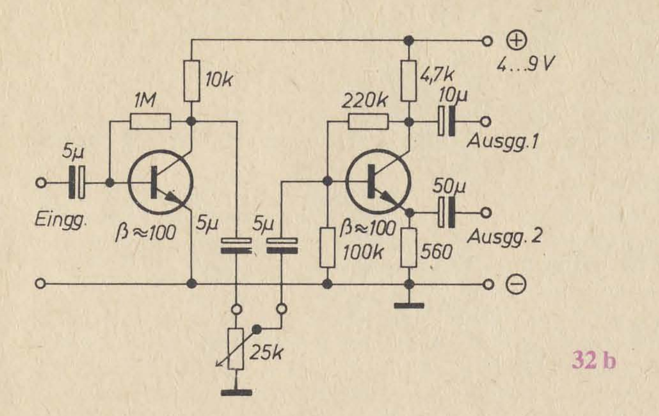


32 a

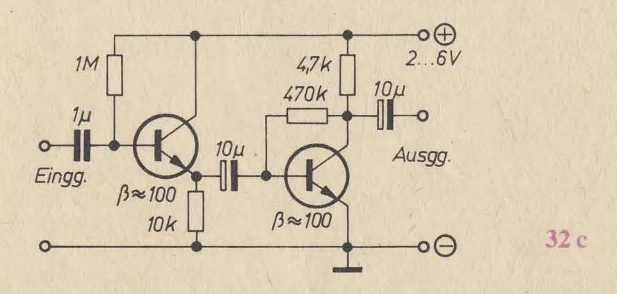
Bild 32
Mit dem Leitungsmuster der Mehrzweck-Doppelstufe realisierbarer Mikrofonverstärker; a) für 200-Ω-Mikrofon, b) für dynamisches Mikrofon mittlerer Impedanz, c) für Kristallmikrofon



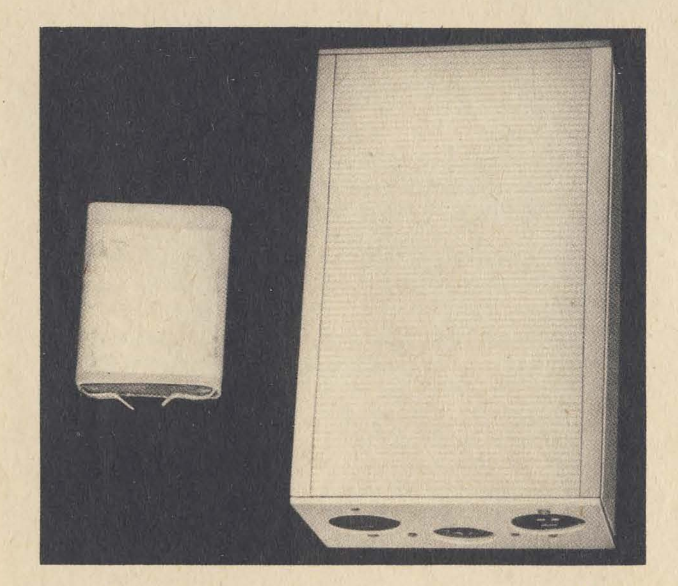
37



32 b



32 c



33

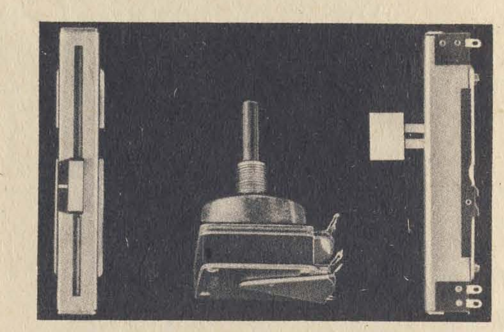
Bild 33
Mikrofonverstärker in »Amateurelektronik«-Gehäuse

Bild 37
Mischpult aus den beschriebenen Baugruppen in »halbsymbolischer« Darstellung. Das Mischpult hat 4 Eingänge in Form von Diodenbuchsen, hinter denen die Anpassung an die jeweils vorgesehenen Signalquellen mit Vorwiderständen und Parallelkondensatoren erfolgt.
I – Fonoeingang für Kristalltonabnehmer, II – Diodenausgang eines Rundfunkgeräts bzw. eines »Tuners«,
III – Magnetbandgeräteanschluß,
IV – Anschluß für Mikrofon mit Vorverstärker, VR – Vorregler 25 oder 50 k, PR – Pegelregler 10 oder 25 k, SR – Summenregler 10 oder 25 k, L – Lautstärkeregler des Abhörverstärkers, S – Mehrstellenschalter des Abhörverstärkers, Ausgang I – Normalausgang, Ausgang II – niederohmig, mit kleinem Pegel

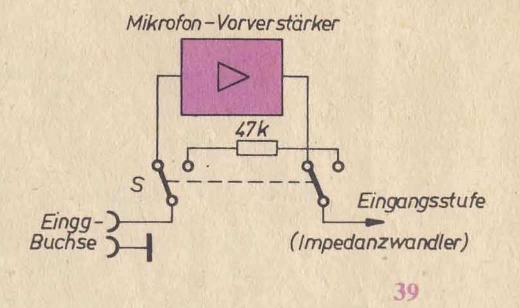
Bild 38
Flachbahnregler im Größenvergleich mit einem Tandempotentiometer

Bild 39
Wahlweises Einschalten einer Mikrofonverstärkerstufe in einen der Mischpulteingänge

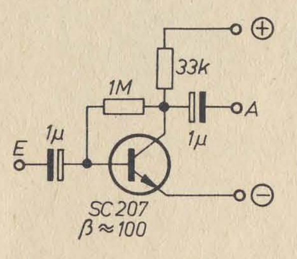
Bild 40
Für die Schaltung nach Bild 39 geeigneter Vorverstärker (auf Teil einer Mehrzweckplatte montierbar)



38

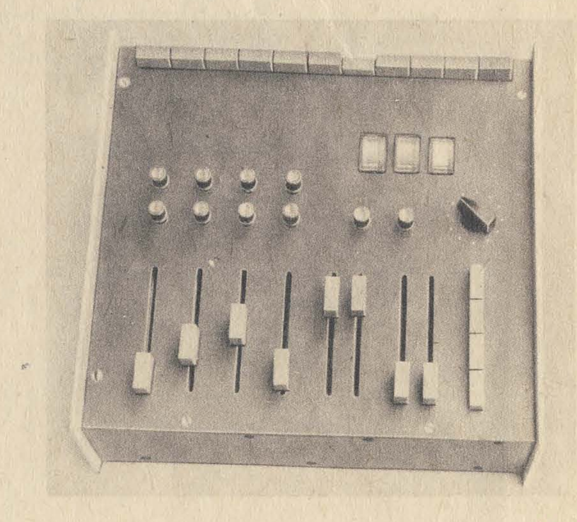


39

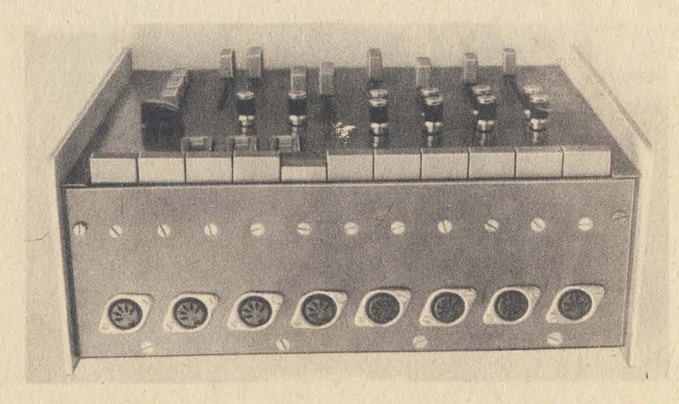


40

Bild 41
2 Ansichten eines ähnlich Bild 37 aufgebauten Mischpults (noch ohne Abdeckplatte und Beschriftung); a) Bedienplatte, b) Rückseite



41 a



41 b